第一章 绪论

海洋学研究内容

一、内容(Contents)

什么是海洋学(oceanography)：海洋学是研究在海洋中的各种现象和过程发生、发展和演化及它们与环境相互作用、相互影响的规律的一门综合性科学。

海洋学研究的对象：地球上 70.8%的海水属地学分支。

二、海洋的特性(Featureofocean)

1、海洋是环境的产物

在地球上，通过能量、物质的相互传递与环境相互作用。

传递方式：

通过边界：海面、海底和沿岸带。

不通过边界：辐射和地球及天体对海水的引力。

A）海水特性：

混合溶液：水、盐分、气体、悬浮有机物、悬浮无机物。

2、海洋形态的固有特性：

1）广漠而有垠

面积广阔,占地球表面积 70.8%，但有边

2）深又浅：

平均深度 4000 米，最深 11034m（陆地高 8848m），但地球半径 6371 公里。

海洋只是地球上一薄层；与水平尺度比其量级很小。

3）连通又阻隔：

各大洋水域连成一体，可充分进行物质和能量的交换。

研究范围：水平运动，垂直运动；一体性或整体性；

物理性质：海洋生物生存环境。

海洋学研究意义

1、海洋与人类生存环境关系密切(Humanareclosedtoocean)

1）是蛋白质主要来源；运输和贸易的中介—航运（密度大)；国际冲突的焦点…

2）影响气候环境:

环流--向高纬输送热量;

对气温起调节作用（海水热容量大）

3）海—气相互作用：

4）海洋灾害：风暴潮、赤潮、海冰、海水倒灌、海岸侵蚀、海底地震等

5）污染：排污与海洋自净能力关系。

2、海洋蕴藏着丰富的资源(Abundantresources)

海洋中蕴藏着丰富的矿产资源、化学资源、生物资源、动力资源

１）矿产资源(Mineralresources)

石油：半数以上在海底。

估计海洋石油储量为(1100－2500 亿吨)，我国大约 100 亿吨。

锰结核：年再生 1000 万吨，可提炼锰、铁、铜、镭等。

此外,金刚石、重晶石、金、锡都在矿砂中找到。

２）化学资源(Chemicalresources)

大量无机盐：海水中含 80 多种元素。1kg 海水含 35g 无机盐。

全球海洋中共含 5 亿亿吨无机盐，其中：黄金：500 万吨；铀：50 亿吨；镁：2100 亿吨；银：4 亿吨；钴：7 亿吨；碘：820 亿吨；盐：1 立方公里海水含 27 万吨。

３）生物资源(Organicresources)：

蛋白质主要来源

海洋生物大约 26 万种，其中海洋动物 16 万、海洋植物约 10 万。发展近岸养殖业。我国近海 15m 以内滩涂 2.1 亿亩，可供养殖 2000 万亩，89 年以来 634 万亩。对虾养殖产量居世界首位。

海洋捕捞：适度与过度的影响。

提取海洋药物：已达分子水平上，基因工程、细胞工程

４）动力资源(Dynamicresources)

潮汐：潮能发电，潜力 10 亿千瓦，我国乳山、江夏建有潮能发电站

波能：30—50 吨压力/m2.但空间分散，时间上间断，破坏力大。挪威 ToHestallen 的 MOW 电站 1985 年运行，1988 年自基础削去。苏格兰 Dounreng 电站于安装过程被冲毁。

海流：能量最低。

温差：表底温差 18 度，但难度大。

3、军事、航运、港工、油气开发(Military,shipping,harborproject,oil&gasdevelop)

军事：作战、布雷、潜艇。

航运：运输量大，航道不需维护。

港工和油气开发：设计标高、安全性、可靠性等必须估计浪、潮、流、风暴潮等的影响。

海洋学研究方法

1、常规和遥感观测：(traditionalandremotesensingobservation)

分析观测数据，得到海洋现象和规律的认识。

传统仪器观测(traditionalobservation)，CTD、ADCP、测波仪

遥感观测(remotesensingobservation)：遥感资料反演海洋参量，如海面温度(SST)、有效波高、海流、海面高度(SSH)、海面风场(SSW)等。

2、实验和数值模拟（Experimentandnumericalsimulation）

实验室或计算机模拟反演海洋过程。

3、理论研讨（theoryresearch）

从理论模式，探讨海洋规律，认识海洋。

海洋学研究发展史

一、早期研究（19 世纪前）(Theearlytimeresearch)

1、地球探险时代(15-16 世纪)：

哥伦布(Columbus):1492 年，发现美洲大陆；

达伽玛(VascodeGama):1498 年首次到达印度，获利 60 倍，奠定了西班牙的海上霸主地位。

麦哲伦(Magellan)：1519-1522，首次航海绕地球一周.

2、单船调查、研究时期：18 世纪-19 世纪中叶

海洋学的奠基人库克(JamesCook)

1768-1780，三次大洋调查，澄清了地理大发现时期留下的许多不定的问题，对印度洋和太平洋的几乎所有岛屿进行了详细的考察。是海洋学的奠基人。

1768-1771，“奋斗”号，目的寻找南大陆，对新西兰考察，发现是岛而非大陆。

1772-1775，“冒险”“果敢”号对南大洋考察，是第一个从东线绕地球一周的人。

1776-1780，为打通太平洋到大西洋的北部航路。发现夏威夷群岛，在 79 年被夏威夷岛上的土人杀死。

北极探险家南森和南北极探险家阿蒙森

南森(Nansen):1861-1930，挪威人。

1893.6,率“前进”号漂至 84N,后步行。是当时北极探险中离极地最近的人,不到 400km。第一个证实北极是海洋，北冰洋存在自东向西的海流，第一个徒步穿越格陵兰岛引起全国轰动。第一任挪威驻英国大使，1923 年获诺贝尔和平奖。

两极探险家阿蒙森(Amundsen)(1872-1928)

1903 年，研究北磁极，打通了从北冰洋进入太平洋的通道

1906 到达旧金山。

1911.12.14，登上南极点，

1926 年首次乘飞艇飞越北极。

二、海洋科学研究开始(Thebeginningsofoceanscience)

1831-1836，达尔文作为博物学家参加，描述、收集、分类、整理海陆动植物，发现各地物种相类似又截然不同。

1859 年《物种起源：通过自然选择或生存斗争中适者得存》

1872-1876，遍游北冰洋外的所有大洋，进行测温、海流、地质底质取样、生物采样、采水等。起因对“深海有无生物”的争论。

1925-1927，13 个断面，南大西洋考察，以计划周密、仪器新、成果丰硕倍受重视

信天翁 III

企业号

理论成就

1687 牛顿万有引力解释潮汐

1740 瑞士人贝努力提出平衡潮理论学说

1770 美国人 Fraklin 发表湾流图

1772 拉瓦锡首先测定海水成分

1775 法国人拉普拉斯首创大洋潮汐动力理论

1859《物种起源》

1884 海水组成恒定性原理（马赛特）

1903 深海海流动力计算方法

1905 埃克曼漂流理论

三、全面认识和近期高速发展(Oceanographyasscienceanditsfastdevelopment)

专门研究机构建立、专职研究人员增多；国际合作加强。各国政府对海洋科学研究的投资大幅度增加，研究船的数量成倍增长。研究仪器设备更先进，回声测深仪，电磁海流计，地层剖面仪，计算机，遥感技术，深潜器。研究成果超出历史的总和，大量科研论著面世，很多领域都获得突出的进展与成果。

四、国际研究计划及研究前景和规划(Plans&Preview)

海洋工作者关注的问题：

1、气候及其变异：ENSO

2、海洋生态系统

黄鱼等鱼变小，捕捞乱一方面，也可能是环境变化改变了生物链

3、海洋减灾、防灾

大风、巨浪造成损失达 100 亿

环境预报研究

赤潮连年发生

国际大计划

IGBP，WCRP 等地学生物

LOICZJGOFS 全球生态动力学

TOGA（85.1-94.12）全球大气海洋:

以 ENSO 为中心研究全球气候季节到年际变化，其成果加深对气候系统的了解及 ENSO 形成机制的理论模型。

WOCE(90-2002)十年海洋环流试验：

计划 2007 获 1 分经纬度分辨率的数值模型、复杂地形条件下边界流动和通过窄口的深层流动。改进涡通量的估值和产生参数化格式的计算值。

CLIVAR 气候变化与预测：

预测季、年际尺度气候变化；引起季、年尺度气变原因，预测人类活动影响；通过古气候运动—认识现今气候。

海洋科学的未来

人口、资源、环境

五、中国海洋科学发展及规划(Development&plansofChinaoceanography)

（一）中国海洋科学发展历程(HistoryofChinaoceanography)

1860 建吴淞信号站

1898 青岛开始观测潮位

1912 设自记验潮仪

1922 海军成立海道测量局

1928 青岛海象台设立海洋科

1946 厦大成立海洋系，

1952 并入山大海洋系，

1959 山东海洋学院，

1988 青岛海洋大学。

1959 中科院海洋研究所

1964 建立国家海洋局

1965“东方红”下水

1976“太阳红 05”进入太平洋特定区综合调查

1984 南极考察，建永久性考察站

1995“东方红 2”开进青岛港

（二）中国海洋科学发展前景(PreviewofChinaoceanography)

第二章 地球系统与海底科学

宇宙中的地球(TheEarthintheUniverse)

一、银河系、太阳系、地球(MilkyWaygalaxy,solarsystem,earth)：

１、宇宙的开始是一个几何点，宇宙大爆炸大约在 150 亿年前。

２、宇宙中大约有 500 亿银河系(MilkyWaygalaxy)，每个银河系大约有 500 亿星体，太阳系(solarsystem)处在银河系中。

１）太阳系的组成:

太阳是太阳系内唯一发光的天体，质量占太阳系总质量的 99.8%。有 9 大行星、50 多颗卫星、2000 多颗小行星、600 多颗彗星绕其运行。9 大行星由近而远：水(Mercury)、金(Venus)、地(Earth)、火(Mars)、木(Jupiter)、土(Saturn)、天王星(Uranus)、海王星(Neptune)、冥王星(Pluto)，按特征分，水、金、地、火物理性质与地球相似，体积小、密度较大、卫星较少、表层为固体、重元素多，称为"类地行星"；离太阳较远的木、土、天王星、海王星物理性质与木星相似，体积大、密度较大、卫星较多、无固体表面、轻元素（气体元素）较多，称为"类木行星"。冥王星较远，物理性质尚不清楚。

２）太阳系生成假说

３、目前地球是太阳系中唯一存在生命的星体。

地球的运动(TheMotionofTheEarth)

一、日、地、月(sun,earth,moon)关系：

地球绕太阳转-分四季，月球绕地球转-月相、日食、月食

二、地球公转、自转,(revolution,rotation)：

地球自转，月球公转；地--月球公共质心平动，系统绕太阳公转---潮汐运动地球发展史

三、地转偏向力(Coriolisforce):

地球自转-----地转偏向力.

地球概观(SurveyoftheEarth)

一、地球结构(Thestructureoftheearth)：

１、圈层结构:

外圈：大气圈(atmosphere)、水圈(hydrosphere)和生物圈(biosphere)(在太阳系中地球的

独特性).

内圈：地壳(crust)、地幔(mantle)、地核(core)。地壳平均厚度 15km，陆地较厚，平均 33km，主要硅铝质（花岗岩）；海洋很薄，平均 6km，为硅镁质（玄武岩）。

２、形状：等位势面的形状，即全球静止海面的形状。理想的地球形状就是大地水准面的形状。

大地水准面：静止海面及向大陆延伸的假想海面，是陆上高程的起算面。

地球形状为梨型，北凸 14m，南凹 24m。

尺度：地表 5.1 亿 km2，赤道半径 6378km，两极 6357km，平均 6371。

二、海陆分布(Distributionoflandandwater)

70.8%地表被海水覆盖

１、对庶分布:

南极(SouthPole)为陆，北极(NorthPole)为水；南半球海水连一体，北半球陆地连成一体；南半球水多，北半球陆多；三大洋似伸向大陆的三个大湾，成鼎状分布。

２、海陆分布不均衡:

北半球，陆地占其总面积的 67.5%，南半球占 32.5%；北半球陆地和海洋比例为 60.7%和 39.3%，南半球海陆比例为 80.9%和 19.1%。

构造学说（TectonicsTheories）

一、大陆漂移说(Wegener'stheoryofcontinentaldrift)：

1912，德气象学家魏格纳(Wegener)提出。

1、他认为，地球上所有大陆在中生代以前曾结合成统一的联合古陆，或称泛大陆，其周围是围绕泛大陆的全球统一海洋--泛大洋。中生代以后，联合古陆解体、分裂，其碎块--即现代的各大陆块逐渐漂移到今日所处的位置。由于各大陆分离、漂移，逐渐形成了大西洋和印度洋，泛大洋(古太平洋)收缩而成为现今的太平洋。

２、证据：有海岸线形态、地质构造、古气候和古生物地理分布等。但限于当时的认识水平，又缺乏占地表 71％的海洋底的地质资料，魏格纳未能合理解决大陆漂移的机制问题，大陆漂移说盛行一时后便衰落下去了。直到 50 年代，古地磁学研究的进展又使大陆漂移说重新复兴，60 年代海底扩张-板块构造学说的创立再赋于大陆漂移说以新的认识。

二、海底扩张说(Thetheoryofseafloorspreading)：

60 年代初形成的海底扩张说受到下列学术思想的影响：(1)联合古陆(Pangaea)的重建、拼合和越来越多的大陆漂移的其他证据；(2)大洋中脊体系及其中央裂谷带的形成机制与特征；(3)海洋沉积物自大洋中脊轴部向两侧依次变厚的事实；(4)海洋地壳的年轻性；(5)某些大陆边缘沟－弧体系的发现及其突出的地震、火山活动特点；等等。

Hess(1960,1962)和 Dietz(1961)几乎同时提出了"海底扩张"这一概念，以阐明主要与海底生成和消亡过程有关的理论。

１、海底中存在大洋中脊(mid-oceanridge)，大洋中脊轴部裂谷带是地幔物质涌升的出口，既海底扩张的中心涌出的地幔物质冷凝形成新洋底，新洋底同时推动先期形成的较老洋底逐渐向两侧扩展推移，这就是海底扩张。海底扩展移动的速度大约为每年几厘米。洋底生成－运动－潜没的周期不超过 2 亿年，驱使洋底周期性扩张运动的原动力是地幔物质对流。

２、证据：沉积岩年龄、厚度：越靠近大洋中脊，沉积物年龄越轻、厚度越薄；磁异常条带；大洋钻探。

海底扩张说能够解释海洋地质学和海洋地球物理学领域的大部分问题，其机制符合物理学理论，并与许多地质、地球物理观测结果一致。自从海底扩张理论系统提出以来，已使人们对洋盆及其边缘有了深刻的理解，而且新资料几乎总是与这个统一的概念相一致。

三、板块构造说(Platetectonic):

１、"板块"一词是 Wilson(1965)在论述转换断层时首先提出的，后经 Morgan、McKenzie、Parker、LePichon 等人的不断综合和完善，于 1968 年正式提出了"板块构造"学说。LePichon(1968)将全球划分为六大板块：欧亚板块(EurasianPlate)、太平洋板块(PacificPlate)、美洲板块(AmericanPlate)、非洲板块(AfricanPlate)、印度-澳大利亚板块(AustralianPlate)(也称印度板块、印度洋板块或澳大利亚板块)和南极洲板块(AntarcticPlate)。后来又把美洲板块划分为北美板块(NorthAmericanPlate)和南美板块(SouthAmericanPlate)，成为七个板块。现在比较流行的是十二板块的划分方案，除七大板块外，还有纳兹卡板块，科科斯板块、加勒比板块、菲律宾海板块和阿拉伯板块。

２、板块边缘为大洋中脊(mid-oceanridge)、转换断层(transformfault)、俯冲带、岛弧(islandarc)和海沟(trench)等，是地震和火山多发带。板块相遇，形成岛弧、海沟（大洋和大陆板块相遇），或高大山脉（两个大陆板块相遇）、地震带、火山。

３、板块内部是相对稳定的，很少发生形变；而板块边界(plateboundaries)则是全球最活动的构造带，全球地震能量的 95%是通过板块边界释放的。

海洋起源(OriginoftheOcean)

一、水的来源(Sourcesofwater)：

１、地球内部(interioroftheearth)：水蒸气结晶。

２、外部星体(exteriorstars)：彗星是冰组成，撞击带来水。

二、盐分的来源(Sourcesofsalt)：

１、基岩溶解(dissolvedigneousrocks)

２、火山喷发(eruptionofvolcanoes)

３、陆源物质风化(weatheringofmaterialsfromland)

海洋的划分(SortsofOceanandSea)

一、海和洋的定义及水文特征(Definitionsandcharactersofoceanandsea)

１、洋(ocean)：地球上连续巨大的咸水体。

海洋的水文特征：

面积广阔，占海洋总面积 90.3%；

远离陆地，受陆地影响小；

水较深（平均 2—3 千米）；

有独立的环流和潮波系统；

底质为软泥、红粘土。

２、海(sea)：

占总面积 9.7%；位于大陆边缘，被陆地、岛弧分割的许多形态各异的小水体。

3、海的水文特征(charactersofthesea)：

靠近陆地，受陆地影响大；面积小，水浅；无独立的潮波系统；底质为陆屑。

二、洋的划分和海的分类(Sortsofoceanandsea)：

１、洋的划分及其形态特征(sortsoftheoceanandtheircharacters)

地理位置划分：太平洋，大西洋，印度洋，北冰洋

研究角度划分：太平洋，大西洋，印度洋，南大洋

1)、太平洋(Pacific)

面积最大：占地表总面积 1/3，海洋表面积的 1/2；平均深度 4028m，东西最宽达半个赤道。

海底地形：东部洋脊为主；东北部为洋盆,上有断裂带；中部海山集中,群岛很多；北部和西部多岛弧、海沟和边缘海。

2)、大西洋(Atlantic)

面积：占世界大洋面积 1/4，平均深度 3627m。海沟 4 个，最深 9218m。洋脊横贯南北。赤道窄，分南北大西洋，海岸形态：南：平直无附属海；北：迂回曲折，多岛屿、港湾和附属海。

3)、印度洋(IndianOcean)

面积：占世界洋面积的 1/5，平均深度超过大西洋，平均 3897m。最深 7450m。“入”字型洋脊：由南而北扩张速度减小。

4)、北冰洋(ArcticOcean)

面积：最小，水深最浅，平均 1200m。有人称其为北极地中海。具有世界上最宽的大陆架：1000km。

5)、南大洋(SouthernOcean)

南纬 45 度至南大陆间的广阔水域。

具有独特的潮波系统和环流系统。

2、海的分类(sortsofthesea)

1）海所处的位置可将其分为陆间海(intercontinentalsea)、内陆海(inlandsea)和边缘海(marginalsea)；

陆间海、地中海：陆间海是指位于大陆之间的海，面积和深度都较大，如地中海和加勒比海。

内陆海：是伸入大陆内部的海，面积较小，其水文特征受周围大陆的强烈影响,如渤海和波罗的海等。

边缘海：位于大陆边缘，以半岛、岛屿或群岛与大洋分隔，但水流交换通畅，如东海、日本海等。

2）按其连通性可分为海湾(gulf)、海峡(strait)；

海湾:洋或海延伸进大陆且深度逐渐减小的水域。

海峡：两端连接海洋的狭窄水道。最主要的特征是流急，特别是潮流速度大。

海底地形(Topography)

一、大陆边缘(ContinentalMargin)

1、大陆架(continentalshelf)

海岸线到水深 200 米以内，平均深度 133 米；宽度 1—1000km，平均 75km；平均坡度 0.1 度；地壳为硅质花岗岩构成。浪、潮、流季节变化，丰富的油气田，渔业，养殖业主要场所。

2、大陆坡(continentalslope)

陆架外缘较陡倾斜的地区，平均坡度 4.3 度，宽度 15—90km，平均 28km，深度 200—2500m。

地形：深切陡峭的 V 型海底峡谷，水下冲积锥.

3、大陆基（裙）(continentalriseorcontinentalapron)

坡外与洋盆间较平坦地区

面积大，平坦，深度 2000—5000m，平均 3700m。

4、岛弧和海沟(islandarcsandtrenches)

深于 6000m 的陷落地带。

二、洋中脊(Mid-oceanridges)

1、洋中脊是大洋的主体,大洋中的山脉或隆起，成因相同、特征相似。具有全球规模(如图)。北端在各大洋分别延伸上陆，南端互相连接。顶部水深大多在 2~3km，高出盆底 1~3km，宽数百至数千千米不等。面积占洋底面积 32.8%。全长 7 万余公里。

2、轴部都发育有延其走向延伸的断裂谷地，称为中央裂谷(riftvalley)，向下切入 1~2km，宽数十至一百多千米。是一个全球性地震活动带，震源浅、强度小，释放能量占全球地震

释放能量 5%。是海底扩张中心和海洋岩石圈增生的场所。扩张速度平均 1—15cm 年。其上有横向断裂(transformfault)，如罗曼奇断裂带，大西洋脊错移 1000km 以上。

三、洋盆(OceanBasins)

１、定义(definition)：

指大洋中脊坡麓与大陆边缘之间的广阔洋底，水深 4000－5000m 的开阔水域，占海洋总面积的 45%。

２、其上分布正地形和负地形(topography)

１）正地形：海底山，海峰，海底平顶山；海隆；海台；海岭；海丘等。

海底山：孤立或比较孤立的坡度较陡的海底高地，高度在 1000m 以上。

海峰；海底平顶山。

海隆：海底上宽广、和缓的隆起区。

海台（海底高原）：具有比较平坦、宽阔顶面的海底高地，高出邻近海底 1000m 以上。

海岭：带状分布、轴状分布。无震海岭，活动海岭（大洋中脊）。

海丘：高度小于 1000m，圆形或椭圆形。

２）负地形：海盆，海槽

海盆：面积大而形状多少带盆状的洼地。

海槽：长而宽，两侧坡度平缓的海底洼地。

中国海形态(TheFormofChinaSea)

一、中国海形态(TheformofChinaSea)

1、渤海：(Bohai)

内陆海，从老铁山角（老铁山头）至蓬莱角（登州头）联线与黄海为界。面积 7.7 万 km２，平均深度 18m，最深 83m。

2、黄海：(theYellowSea)

半封闭浅海，南界为启东嘴至济州岛连线与东海相接。面积 38 万 km２，平均深度 44m，最深超过 100m。地形中央凹地。

3、东海：(EastChinaSea)

太平洋边缘海，水域辽阔，面积 77 万 km２，平均深度 370m，最深 2719m。

4、南海：(SouthChinaSea)

面积 350 万 km２，平均深度 1212m，最深 5377m。

第三章 海水的物理特性和世界大洋的层化结构

海水组成(ConstituentsofSeawater)

一、海水组成(ConstituentsofSeawater)：

11 种主要无机盐，占 99.99%；

海水：混合溶液=淡水+无机盐+有机物+悬浮质+⋯⋯

二、海水组成恒定性原理(Principleofconstantproportion)：

Marcet 原理或 Dittwar 定律

无论海水所溶解的盐类的浓度大小如何，其中常量离子间比值总是恒定的。

海水的物理性质

一、淡水(Freshwater)

分子结构(Molecularstructure)：极性，分子缔合力

溶解力强：水分子有很强的极性

密度变化异常：

不遵从“热胀冷缩”。最大密度时温度是 4 摄氏度沸点(boilingpoint)和融点(meltingpoint)、比热(specificheat)、蒸发潜热(latentheatofvaporization)等热性质比氧的同族化合物高。

二、海水的热力学性质(Energeticpropertyofseawater)

1)热容(seatcapacity)、比热容(specificheat)

热容(heatCapacity)：海水温度升高 1K 所吸收的热量。（单位：J/K）

比热容((specificheatcapacity))：单位质量海水的热容。单位：J/(Kkg)

定压比热 Cp:在一定压力下测定的比热容。

定容比热 Cv:在一定体积下测定的比热容。

二者皆是温(T)、盐(S)、压(P)的函数。Cp 在海洋学中较常用，比 Cv 值略大。Cp 值随盐度的增高而降低，随温度的变化比较复杂，低温、低盐时随温度升高而减小，高温、高盐时随温度升高而增大。

2)热膨胀

热膨胀系数:温度升高 1K 单位体积海水的增量。是 T、S、P 的函数。

海水的热膨胀系数比纯水的大，且随温度、盐度和压力的增大而增大；在大气压力下，低温、低盐海水的热膨胀系数为负值，说明当温度升高时海水收缩。由正转负对应的密度最大。

3)压缩性(Compressibility)、绝热变化，位温(PotentialTemperature)

压缩系数：单位体积海水，压力增加 1Pa 体积的负增量。

若海水微团在被压缩时，因和周围海水有热量交换而得以维持其水温不变，则称为等温压缩。若海水微团在被压缩过程中，与外界没有热量交换，则称为绝热压缩。海水的压缩系数随温度、盐度和压力的增大而减小。

绝热变化：绝热提升时，压力减小，体积膨胀，对外做功，消耗内能导致温度降低;绝热下沉时，压力增加，体积减小，对力对海水微团做功，增加期内能使温度增加。

位温(potentialtemperature)：某一深度海水绝热上升到海面时温度称该深度海水的位温。比现场温度低

4)蒸发潜热(latentheatofvaporization)和饱和水气压

比蒸发潜热：使单位质量海水化为同温度的蒸汽所需的热量，称为海水的比蒸发潜热，以 L 表示，单位是焦耳每千克或每克,记为 J/kg 或 J/g。

饱和水气压：是指水分子由水面逃出和同时回到水中的过程达到动态平衡时，水面上水汽所具有的压力。

5)热传导(transmissionofheat)

相邻海水温度不同时，热量由高温处向低温处转移，这就是热传导。

由分子的随机运动引起的热传导，称为分子热传导。主要与海水的性质有关。由海水块体的随机运动所引起，则称为涡动热传导或湍流热传导。主要和海水的运动状况有关。

6)沸点升高、冰点降低

海水的沸点(boilingpoint)和冰点(freezingpoint)与盐度有关，即随着盐度的增大，沸点升高而冰点下降。冰点温度(freezingpoint)随盐度 s 的增加而降低。

三、海水的其他物理性质(Anotherphysicalpropertyofseawater)

1)粘滞性(viscosity)：

当相邻两层海水作相对运动时，由于水分子的不规则运动或者海水块体的随机运动(湍流)，在两层海水之间便有动量传递，从而产生切应力。

2)渗透压(penetrationpressure)：

在海水与淡水之间放置一个半渗透膜，水分子可以透过，但盐分子不能透过。那么，淡水一侧的水会慢慢地渗向海水一侧，使海水一侧的压力增大，直至达到平衡状态。此时膜两边的压力差，称为渗透压。

3)表面张力(surfacetension)：

液体的自由面上，由于分子之间的吸引力所形成的合力使自由表面趋向最小。

温、盐、密概念及之间关系

1.温度(Temperature)

描述物质分子热运动的量度。

2.盐度(Salanity)

1)盐度(1902)：1kg 海水中将(Br-,I-)以氯置换，碳酸盐分解为氧化物,有机物全部氧化,所余固体物质的总克数。(480 度加热 48 小时）利用"海水组成恒定性"，测定出其中某一主要成分的含量，便可推算出海水盐度。

2)氯度:1kg 海水中将(Br-,I-)以氯代替，所含氯的总克数。转换为盐度的关系式为：S‰=0.030+1.8050Cl‰

3)电导盐度

4)实用盐标 PSS78：

为使盐度的测定脱离对氯度测定的依赖，JPOTS 又提出了 1978 年实用盐度标度(thePracticalSalinityScale,1978),并建立了计算公式，编制了查算表，自 1982 年 1 月起在国际上推行。建立实用盐度的固定参考点：

配制一种浓度为 32.4356‰高纯度的 KCl 溶液，它在"一个标准大气压力"下，温度为 15℃时，与氯度为 19.374‰(盐度为 35.000‰)的国际标准海水在同压同温条件下的电导率恰好相同，把这一点作为实用盐度的固定参考点。

3.密度和比容(Density&Capacity)

密度(Density)：单位体积物体的质量;

比容(SpecificCapacity)：单位质量物体的体积是比容。

二者皆是温、盐、压的函数。

现场密度：一定温、盐、压下测得的密度。

条件密度(ConditionalDensity)：g/cm3

密度超量：kg/m3

状态方程(StateFunction):描述海水温、盐、压、密等理化特征参量之间关系的数学表达式。

海冰(SeaIce)

1、Tf、Tmax 与盐度关系(ConnectionbetweenTf、TmaxandS)

随盐度的增加而降低，且前者比后者降的慢，当盐度为 24.695 时二者均是-1.33 度。

2、结冰过程(Freezingprocedure)

淡水结冰：表层开始结冰。

海水结冰：大于 24.695 时结冰前一直对流混合，然后混合层都达冰点时一起结冰。

结冰条件：冰点温度，结晶核

3、海冰分布(Distributionofseaice)

北极

南极

季节变化

4、海冰物理性质(Physicalpropertyofseaice)

盐度(salanity)：1kg 海冰融化后海水的盐度。

密度(density)：与 S 有关，与冰内的气泡有关。1/10 在水上，9/10 在水下。

比热(specificheat)：比纯水冰大，且随盐度增高而增大。受卤水的影响，随温度有较大的变化，因其盐度值有很大差异。低盐比热小，高盐比纯水冰大数倍。

热传导系数(coefficientofheattransmission)：比纯冰小，受气泡影响大大减小，天然保温层。5、海冰与海洋水文状况的关系(Seaiceandhydrologicstatus)

1）对水文要素垂直分布影响:

同性成层：丰富的渔业资源。

盐度跃层(halocline)：

密度跃层(pycnocline)：融冰时表层会形成暖而淡的水层覆盖在高盐冷水上，形成密度跃层。

形成大洋底层水(bottomwaterofocean)；

2）对海水运动影响：潮汐(tide)，海浪(seawaves)

3）对海洋热状况影响：辐射(radiation)，水温

冬季：结冰，结晶热，冰盖，皮袄；

夏季：反射，融冰，融结热

6、海冰的危害(Harmofseaice)

港口，航运，海上油气开发

世界大洋的热量与水量平衡

海面热收支(Heatbudgetoftheseasurface)

一、太阳辐射 Qs(Solarradiation)

1、辐射定律(lawofradiation)：

1)、斯蒂芬—波尔兹曼定律：任何温度高于绝对零度的物体都能以辐射的形式向外释放能量，它与绝对温度 Tk 的 4 次方成正比。

2）维恩定律：辐射能量的最大波长与辐射体表面的绝对温度成反比。

总辐射能=直达辐射+散射辐射

2、影响因素(influencingfactors)：

A、太阳高度 h：

B、大气透明度

C、天空中的云量、云状

3、总辐射能分布(Thedistributionoftotalradiantenergy)：

1）纬度(latitude)：

A、随纬度升高而减小

B、除赤道地区外，夏半年均高于冬半年且差值随纬度升高而增大。

C、经向梯度夏半年小于冬半年。

2）进入海水中的辐射能：

主要被表层海水吸收，随深度增加指数衰减。

二、海面有效回辐射 Qb(significantreradiationoftheseasurface)

1、定义(definition)：海面向大气的长波辐射与大气向海洋的长波辐射之差。

2、影响因素(influencingfactors)：

A、海面水温(seasurfacetemperature)

B、空气中的湿度(humidity)

C、云量、云状(cloud)

3、分布(distribution)：

表面水温和海洋上层的相对湿度的日变化和年度变化相对较小，则 Qb 随纬度及季节变化小。

三、蒸发潜热 Qe(latentheatofevaporation)

1、对海气间热交换起重要作用(importanteffect)

2、影响因素(influencingfactors)：

A.水汽温差

B.大气中水汽垂直分布

C.风速

3、分布及变化(distributionandchanges)：

(a)经向（南北）：

赤道蒸发量小（相对湿度大，风速小）高纬度海区小（温度低，水汽含量少）副热带和信风带海区大气流下沉，空气干燥，气温高，风大

(b)季节变化：

冬季最强（风速大，水汽压差大，水温高于气温，空气层结不稳）

四、感热交换 Qh(exchange)

1、海气温度不等，通过热传导也有热量传递。

2、有两个影响因素：海面风速和海气温差。

3、分布：寒暖流区较强

4、季节变化：冬季强，夏季较小

五、世界大洋海面年平均热收支随纬度变化

海洋内部热交换（Heatexchangeintheocean）

一、铅直方向上的热输运 Qz(vertical)

二、水平方向热输送 QA(horizontal)

三、海洋中全热量平衡(equilibrium)

海洋中的水平衡

一、影响因子(Influencingfactors)：

1、蒸发（evaporation）：

热量、水量消耗的过程。44 万立方千米。124—126cm/a

2、降水(precipitation)：41 万立方千米,113.7cm/a。各大洋分布不均匀。与大气环流有关。

3、大陆径流、地下水(runoff&groundwater)：2.92 万 km3,大西洋最多，亚马逊(第一径流)，密西西比(第二大河)，刚果(第二大径流)，全部注入大西洋(Atlantic)，可使海面上升 23cm/a.印度洋(IndianOcean)次之，太平洋最少。长江(第三径流)只及亚马逊 18.9%。全部注入，使太平洋(PacificOcean)海面上升 7cm/a。

4、结冰与融冰(icingandmelting):局地影响

5、海流(current):整个大洋是可逆的，局部海区有影响。

二、水平衡方程(Equationsofhydrologicalcycle)

1、方程(equations)：

对整个世界大洋、全年或多年平均

2、水平衡对盐度的影响(effectonsalinity)

1）世界大洋表层盐度分布取决于蒸发和降水量之差。

2）(E-P)~S

3）低纬度海区(lowerlatituderegion)：降水大于蒸发,P-E>0,S 低。

4）副热带海区(subtropicalregion)：蒸发大于降水,P-E<0，S 高。

5）副极地海区(subpolarregion)：多云带，蒸发少，S 低。

3、局部地区各大洋的情况(localregions)

北冰洋（ArcticOcean）：径流大，蒸发量小，水量盈余，盐度低，冰点升高，易结冰。

太平洋（PacificOcean）：降水最多，降水+径流>蒸发，水量盈余，平均盐度低。

大西洋（AtlanticOcean）：降水少，蒸发>降水+径流，导致水位损失 12cm/a。平均盐度高。

世界大洋及中国海温盐密分布及变化

一、概述(Summary)

1.对整个世界大洋

75%的水体温度(watertemperature)在 0-6°C,50%在 1.3-3.8°C,整体水温平均 3.8°C。其中太平洋(thePacificOcean)3.7°C，大西洋(theAtlanticOcean)4.0°C，印度洋(theIndianOcean)3.8°C。表层海水平均温度 17.4°C，其中太平洋 19.1°C，大西洋 16.9°C，印度洋 17.0°C。（太阳辐射入海的光能被表层海水吸收，因此表层海水温度(SeaSurfaceTemperature)高于海洋内部。

2.大西洋表层水低于太平洋的原因：

1)两大洋拥有的热带海域面积;

2)与北冰洋(theArcticOcean)水交换

3.热赤纬：最高温出现的位置。平均在 7°N 左右。热赤纬不是在赤道的原因：

1）大洋环流系统(oceancirculationsystem)的配置

2）与两极水交换

二、分布(Distribution)

（一）水平分布(horizontaldistribution)

1.表层(surfacelayer)：等温线(isotherm)成条带状，沿纬向逐渐减小东、西边界等温线弯曲方向相反寒暖流交汇处等温线密集径向温度梯度（meridionalthermalgradient)冬季大于夏季。

2.深层(abyssallayer)：表层以下太阳辐射(solarradiation)直接影响减弱，环流情况与表层不同，所以水温分布与表层不同。500m，水温经向梯度减小，南北温差减小。西边界(westernboundary)出现明显高温区。1000m，经向变化更小，大西洋、印度洋高温区是高温高盐地中海水溢出形成高盐中层水。4000m，温度分布均匀，整个大洋温差不过 3°C。底层，南极底层水(Antarcticbottomwater)影响，性质均匀，约 0°C 左右。

（二）垂直分布(verticaldistribution)

表层高，随深度增加而降低。各纬度分布不同：

1.低纬度(lowlatitude)：表层温高的均匀层(100m 左右)，下面强大温跃层(主温跃层)。主温跃层（mainthermocline,又称永久性温跃层）：不随季节变化。在纬向上，赤道(equator)附近的主温跃层较强、较薄，深度大约在 300m 左右；在副热带(subtropical)海域下降，深度加深，厚度加大。高纬度)区域，强度增大，厚度减小，水层变浅。极地(polarregion)水域不出现永久性跃层。

2.中纬度(mid-latitude)：

上为均匀混合层(mixinglayer)，其下季节性温跃层(seasonalthermocline)。

3.高纬度(highlatitude)：

极锋(front)向极一侧，不存在永久性跃层，冬季在上层出现逆温现象(暖中间水)，深度100m 左右；夏季冷中间水。

季节性温跃层生消规律：

三、水温的变化(Changesofwatertemperature)

（一）日变化(diurnalchange)：

很小，变幅不超过 0.3°C。

日较差：最高温与最低温之差。

1.影响因素：主要因子是太阳辐射(solarradiation)、内波(internalwave)等。

2.表层：

相比之下，晴天比多云大；无风比有风大；低纬比高纬大；夏季比冬季大；近岸比外海大。主要受

云(cloud)、风(wind)、潮流(tidalcurrents)影响。

3.深层：

表层水温的日变化，通过海水内部的热交换(heatexchange)向深层传播。变幅随深度增加而减小，位相则落后。

（二）年变化(annualchange)：

表层受制太阳辐射(solarradiation)年变化。最高温与最低温差为年较差，赤道和极地海域年变幅小于 1°C，最大值出现副热带海域 8-9°C，寒暖流交汇处可达 14、15°C。北半球(theNorthernHemisphere)变幅大。近海大于大洋。

表层以下水温的年变化，主要靠混合(mixing)和海流(oceancurrents)等因子施加影响。

（三）非规则变化(irregularchange)：西班牙圣婴 ELNino 现象。

盐度分布及变化(DistributionandChangesofSalinity)

一、概述(Summary)

世界大洋盐度平均值(meansalinityoftheworld'socean)以大西洋最高，为 34.90；印度洋次之，为 34.76，太平洋最低，为 34.62。

二、空间分布(Spatialdistribution)

空间分布不均匀。

（一）水平分布(horizontaldistribution)

1.表层(surfacelayer)：

总特征，基本上具有纬线(woof)方向的带状分布特征和经向分布呈鞍马状；

寒暖流交汇区和径流(runoff)冲淡海区等盐线(isohaline)密集；某些海域达 0.2/km。盐度的最高与最低值多出现在大洋边缘的海盆(oceanbasinsaroundtheedgeoftheocean)中；地中海(Mediterranean)、波斯湾(PersianBay)、红海(RedSea)达 39-43，波罗的海(TheBalticSea)北部最低时只有 3。

冬季盐度分布特征与夏季相似。

平均各大洋表层盐度(meansurfacesalinityofeachocean)，北大西洋(NorthAtlantic)(最高(35.5)，南大西洋(SouthAtlantic)、南太平洋(SouthPacific)次之(35.2)，北太平洋(NorthPacific)最低(34.2)。

大西洋盐度高于太平洋盐度的原因：

(1)大西洋沿岸无高大山脉；(2)洋流影响

2.深层(abyssallayer)：

盐度差异随深度的增加而减小。在 500m，整个大洋盐度水平差异约 2.3，高盐中心移往大洋西部。1000m 约 1.7；至 2000m,0.6；深处几近均匀。

（二）垂直分布(verticaldistribution)

1.赤道区：(equatorzone)

均匀低盐层、盐度最大层—盐度跃层(halocline)—盐度最小层,缓慢增加。南强北弱

2.副热带海区(subtropicalzone)：均匀高盐层、盐度最小层.

3.极地海区(polarregion)：

层状分布的原因，大洋表层以下的海水都是从此海区表层辐聚(convergence)下沉而来的。

三、盐度的变化(Changesofsalinity)

1.日变化(diurnalchange)：

表层很小，变幅通常小于 0.05。下层，受内波(internalwave)的影响，常有大于表层的。

日较差：一天中最高、最低盐度之差。

2.季节变化(seasonalchange)：

由蒸发(evaporation)、降水(precipitation)、径流(runoff)、融冰(icemelting)结冰(icing)及大洋环流(oceancirculation)等因素制约。有年变化的周期。但各海区不同，无普遍规律可循。

3.不规则变化(irregularchange)：

（1）径流(runoff)（2）地震(earthquake)

密度分布及变化(DistributionandChangesofDensity)

一、分布(Distribution)

（一）水平分布(horizontaldistribution)

是 T、S、P 的函数

1.表层(surfacelayer)：取决于温度(temperature)和盐度(salinity),沿经向从赤道(equator)向两极(poles)逐渐增大。

2.深层(abyssallayer)：密度(density)水平差异减小。

（二）垂直分布(verticaldistribution)

主要取决于温度.

1.随深度(depth)增加而不均匀的增大。

2.低纬(lowlatitude)与主温跃层对应，出现密度跃层(pycnocline)。

3.沿各纬度分布与主温跃层相应。热带表面密度(surfacedensityoftropicalzone)小，密度跃层强度大，副热带表面密度增大，密度跃层强度(intensity)相对减弱。极锋(front)向极一侧，不存在跃层。（表面密度大）个别海域形成浅而弱的密跃层。（降水、融冰）在浅海，随着季节性温跃层(seasonalthermocline)的生消也会存在密度跃层的生消过程。

二、变化(Changes)

1.日变化(diurnalchange)：微不足道。深层有密度跃层存在时，受内波(internalwave)影响会有波动，但无规律。

2.年变化(annualchange)：与温度、盐度年变化有关，综合作用也导致了密度年变化的复杂。

中国海温盐分布及变化(DistributionandChangesofTemperatureandSalinityinChinaSea)

季节性温、盐跃层

温、盐日较差

温、盐年较差

观测手段(Measurements)

一、传统：颠倒温度计(Deep-seareversingthermometer)

二、电子(electronic)：CTD

三、红外(infrared)：热电偶、热敏电

海水混合(MixingofSeaWater)

一、混合概念、形式(Definitionandtypes)

（一）定义(definition)：

混合是海水的一种普遍运动形式，混合过程就是海水各种特性逐渐趋向均匀的过程。

（二）混合形式(mixingtype)：分子混合(molecularmixing)，涡动混合(turbulentmixing)，对流混合(convectivemixing)

分子混合(molecularmixing)：分子的热运动与相邻海水进行交换，只与海水的性质有关。

涡动混合(turbulentmixing)：海水微团的随机运动与相邻海水进行交换。与海水的运动状态有关。

对流混合(convectivemixing)：热盐作用引起，主要是铅直方向水体交换。

（三）海水混合具有区域性(localcharacter)：界面混合(interfacemixing)和内部混合(interiormixing)。

1、界面混合(interfaceblending)

海气界面：强烈的动力和热力过程。风混合；热力对流混合。

海底层混合：主要由海流、潮流等动力因子引起，自海底向上发展。

海洋锋区：不同水团相交汇的海区，有水平和垂直混合。

2、海洋内部混合(interiorblending)

海洋内波引起的混合尤为重要；

“双扩散对流”效应：由于分子热传导系数大于盐扩散系数（100 倍），引起的自由对流，促进海洋内部混合。通常两种形式：

1）冷而淡的海水置于暖而咸的海水之上温度出现不稳定状态，上下层海水是静力稳定状态，由于分子扩散的结果，上层海水增温增盐，下层降温降盐，由于热传导系量是盐扩散系数的 100 倍，所以上层海水由于增温而密度减小，导致海水从界面处上升，下层降温降盐而密度增大，导致海水从界面处下降。对流从界面开始分别向上和向下扩展。

2）暖而咸海水置于冷而淡海水之上与 1）形式相似，上下层海水通过界面产生对流。海洋中观测到“盐指”(saltfinger)双扩散对流效应大大促进了海洋内部的混合。

二、混合效应及影响因素(Effectandinfluencingfactorsofmixing)

1.动力混合：均匀层，温度跃层(thermocline)，盐度跃层(halocline)，形成密度跃层(pycnocline)

2.对流混合：均匀层，增盐：温度跃层，降温：盐度跃层，不会出现密度跃层

三、混合增密效应(Density-enhancedeffect)

混合收缩效应:混合后的密度大于混合前海水的平均密度。

海水密度随温、盐和压力的变化是非线性的。

四、水团之间混合(Mixingbetweenwatermasses)

海洋热盐细结构

(MicrostructureofOcean'sTemperatureandSalinity)

一、海洋细结构(microstructureoftheocean)：

相对常规观测尺度的铅直向结构，称其为“细微”。很多很薄的水层构成，层内温盐性质相对均匀的分层结构。

二、两种型式(Twopatterns)：阶梯状结构和不规则的扰动型

1.阶梯状结构(ladderpattern)：

海洋上层大风的扰动或相邻海水的入侵。在海洋深层的一般认为是“双扩散”对流是其形成原因。

2.不规则扰动型(irregulardisturbedpattern)：

跃层内有厚度为数米的温度和密度相当均匀的薄层，有时甚至有逆温现象。可能是内波的破碎或小尺度湍流形成。

第五章 海洋环流

概述（Summary）

一、定义及分类（Definition&Type）

1.海流(Oceancurrent)：海水大规模相对稳定的流动。

2.分类(Type)：

按成因分：

密度流(densitycurrent)，风海流(windcurrent)，补偿流(compensationcurrent)；

按受力分：

地转流(geostrophicflow)、惯性流；

按发生区域：

赤道流(equatorialcurrent)，陆架流，东西边界流(eastern/westernboundarycurrent)等；

按运动方向：

上升流(upwelling)，下降流(downwelling)；

按海流温度与周围海水温度差异分：

寒流，暖流等

二、研究意义（Significance）

国防，航运，渔业，气候

三、影响和产生海流的力（Causesofcurrent）

引起海水运动的力：重力，压强梯度力，风应力，引潮力

海水运动后派生的力：科氏力(Coriolisforce)，摩擦力(frictionforce)

1、重力：

地心引力与地球自转产生的惯性离心力的合力。习惯上将单位质量物体所受重力称为重力加速度，以 g 表示。与纬度和海水深度有关:海面上赤道到极地差为 0.052m/平方米,在中纬度，海面与 10km 深处的差为 0.031m/平方米。因此，在海洋研究中，一般视其为常数 9.8m/平方米

重力势(potentialofgravity)：从一水平面逆重力方向移动物体到另一高度所做功。

等势面：位势相等的面叫等势面。处处与重力垂直的面称水平面。

海平面(sealevel)：海洋表面的平均位置。

2、压强梯度力：

等压面：压强相等的面。

压强梯度力：

水体所受静压力的合力：

f=f1-f2=P・A-(P+△P)・AP・A

单位质量水体所受的静压力的合力：与等压面垂直，指向压力减小的方向。即与压强梯度方向相反。

流体静力学方程：

正压场：等压面与等势面平行

斜压场：等压面相对等势面发生倾斜时。

海洋内压场：由海洋中密度差异形成的斜压状态。在海洋上部斜压性很强。

外压场：外部原因（风、降水、江河径流）引起海面倾斜产生的压力场。

3、风应力：

切应力，将大气动量输送给海水，目前，只能以经验公式给出

4、科氏力：

5、摩擦力：

体积力，分子粘性力(molecularviscosity)和湍流粘性力(turbulentviscosity)

四、海水动力学方程（Dynamicequationofseawater）

运动方程：牛顿第二定律

速度 V 是时空的函数，即 V=V(x,y,z,t)

实质微商：

连续方程:质量守恒定律在流体中的应用。

海流成因(CauseofCurrent)

一、风生：风生海流(WindDrivenCurrent)

二、温盐变化引起：密度流(DensityCurrent)

地转流(GeostrophicFlow)

一、均匀海洋中地转流(Geostrophicflowofhomogenizedocean)

1、地转流(geostrophicflow)定义：

压强梯度力水平分力与科氏力达到平衡时的稳定流动。

2、特点(characters)：

１）地转流流速大小与等压面和等势面的夹角的正切成正比，与科氏参量成反比；

２）沿两面的交线流动,北半球流向偏在压强梯度力水平分力右方 90 度；

３）在北半球，面向流去的方向，右面等压面高，左面低。

４）内压场引起的等压面倾斜主要体现在海洋的上层，随深度增加而减小。外压场引起的等压面倾斜则直达海底。

二、二层海洋中地转流(Geostrophicflowoftwo-layered-ocean)

1）等压面倾斜与等势面倾斜方向相反，若上层流速小于下层流速，倾斜方向相同。

2）流向沿三面交线流，且面向流去方向右面密度小，左边大。右边温度高，左边低。

风海流(WindDrivenCurrent)

一、无限深海风海流（亦称漂流）(WindDrivenCurrentofDeepSea/Drift)

艾克曼(Ekman)于 1905 年根据南森在北冰洋考察时发现冰的漂流方向与风向不一致。

1、定义：海水摩擦力(friction)和科氏力(Coriolis)平衡时的稳定流动。

假定：I.均匀；II.海区无限宽广，海面无起伏；III.风场均匀，只沿 x 方向吹；IV.只考虑垂直涡动粘滞系量引起的水平方向的摩擦力，且视为常数；V.科氏力不随纬度变化。

方程：

边界条件(boundarycondition)：海面(surface)z=0

海底(bottom):u=v=0

解：

其中：

2、空间结构：

1）表层流速最大，流向偏向风向的右方 45 度；

2）随深度增加，流速逐渐减小，流向逐渐右偏；

3）至摩擦深度，流速是表面流速的 4.3%，流向与表面流向相反，可忽略；

4）连接各层流速的矢量端点，构成艾克曼螺旋线(Ekmanspiral)。

二、浅海风海流(Winddrivencurrentofshallowsea)

水深越浅，从上层到下层的流速矢量越是趋近风矢量的方向。

三、风海流体积输运(Bulktransmissionofwinddrivencurrent)

无限深海风海流垂直风向输送，北半球在风向的右边，南半球相反。浅海风海流存在岸、底摩擦，在 x,y 方向都有输送。

四、风海流的附效应(Attachedeffectsofwinddrivencurrent)

升降流(up&downwelling)：

1)顺岸风(coastwisewind)

2)气旋(Cyclone)与反气旋(Anticyclone)

3)辐散(Divergence)、聚(Convergence)带等引起

惯性流（InertialCurrent）

科氏力和加速度达平衡

(1)u+(2)v:

(1)v-(2)u:

流速、流向，水质点运动是等速圆周运动。

水质点运动轨迹

对方程式积分：

1.轨迹是圆形

2.半径为(Radius)：与纬度有关。

3.周期(Cycle)：

4.频率(Frequency)：

5.北半球为顺时针旋转，南半球相反。

f=0.0001/s，T=17.4h

V=0.1m/s，r=1km

V=1.0m/s，r=10km

6.中纬度惯性流：周期为 17-18h，半径 1-10km.

大洋环流及水团结构(Circulation&StructureofWaterMass)

大洋环流的成因(CauseofCirculation)

一、风生大洋环流(WindDrivenCirculation)

1. 西向强化理论(WesternIntensificationTheory)：IntheNorthAtlanticandNorthPacificthecurrentsflowingonthewesternsideofeachoceantendtobemuchstrongerandnarrowerincrosssectionthanthecurrentsontheeasternside.科氏参量随纬度变化。

2.Stommel 理论：

1948,风应力、铅直湍切应力及科氏力等的平衡关系。将大洋视为等深矩形风应力随纬度变化。

三种科氏参量情况下的解结果：

3.Munk 理论：

1950,考虑均质大洋边界侧向摩擦力作用，将北太平洋为三角形，得到与实测海流相似的结果。

二、热盐环流(ThermohalineCirculation)

由温、盐变化引起的环流。相对而言，在大洋中下层占主导地位。

大洋主温跃层稳定性：

低纬海区有净的热输入，表明深层有冷水上升，有效阻止热量从表面向下扩散。使跃层深度保持稳定。

黄观点：

风生大洋环流(Winddrivencirculation)：风应力驱动，密度差异控制建立起的环流。

热盐环流(Thermohalinecirculation)：密度差驱动的环流（包括风、热通量、水通量及海洋内部混合等）

海洋表层环流的地理分布(DistributionofSeaSurfaceCirculation)

1、副热带海区反气旋式环流(Anticyclonecirculation)：

太平洋(Pacific)、大西洋(Atlantic)：南半球和北半球都存在。

印度洋(Indianocean)南半球与大西洋(Atlantic)和太平洋(Pacific)相似，北半球冬夏环流形式受季风影响不同，冬半年是反气旋式环流，夏季则消失。

2、气旋式环流(cyclonalcirculation)：

太平洋和大西洋的亚北极海区受极地弱东风的影响。

大洋表层环流各流系的特征(CharactersofSeriesofSurfaceCirculation)

一、赤道流系(Equatorialcurrent)：

1.南、北赤道流(South/Northequatorialcurrent)对应信风带(tradewindband)，亦称信风流。南北不对称，夏季北赤道流在 10°N 到 20°N—25°N 之间，南 3°N—10°S 之间。冬季稍偏南。赤道流自东向西逐渐加强。

2.赤道流系特征(Charactersofequatorialcurrent)

主要 100—300m 的上层，平均流速 0.25—0.75m/s。下部有强大的跃层存在，跃层以上温暖高盐的表层水。溶解氧含量高，营养盐低。赤道流是高温、高盐、高水色及透明度大为特征的流系。

3.印度洋赤道流系特征(CharactersofIndianequatorialcurrent)

主要受季风(monsoon)控制。11 月至翌年 3 月盛行东北季风，5—9 月盛行西南季风。

4.赤道逆流(Equatorialcountercurrent)

对应赤道无风带，平均位置在 3°N—10°N 之间。逆流区有充沛的降水，相对赤道流具有高温、低盐特征。它与北赤道流之间存在辐散上升运动，水色和透明度也相对降低。

5.赤道潜流(Equatoriallatentcurrent)南赤道流区下方温跃层内，与赤道流相反自

西向东的流，成带状分布，厚约 200m，宽 300km，最大流速达 1.5m/s。流轴常与温跃层一致，向东变浅。

二、西边界流(Westboundarycurrent)：

1.大洋西侧沿大陆坡从低纬向高纬的强流。太平洋黑潮(KuroshioCurrent)和东澳流(EastAustraliaCurrent)，大西洋湾流(GulfStream)和巴西流(BrazilCurrent)，印度洋莫桑比克流。是反气旋环流一部分，赤道流的延续。与近岸水相比，具有高温、高盐、高水色和透明度大等特征。北强南弱。

2.湾流(GulfStream)：佛罗里达流与安的列斯流汇合处视为起点。北上经 1200km，到哈特拉斯角，又离岸向东，直到 45° W 附近的格陵兰滩以南，行程 2500km。然后转向东北，横越大西洋——北大西洋流。湾流在海面宽度 100—150km，表层最大流速 2.5m/s，最大流速偏在流轴左方，沿途流量不断增大，影响深度可达海底。两侧有自北向南的逆流存在。湾流方向左侧为高密冷水，右侧低密暖水，水平温度梯度高达 10° C/20km。等密线倾斜渗达 2000m 以下。绝大部分达海底。有弯曲现象，流轴弯曲足够大，与主流分离，在南侧形成气旋式冷涡，在北侧则形成反气旋式暖涡。空间特征尺度为数百千米，有时存在几年，沿湾流相反方向移动。

3.黑潮(KuroshioCurrent)：菲律宾群岛东侧北上，主流从台湾东侧经台湾和与那国岛之间水道进入东海，沿陆坡向东北方向流动。到九州西南方一部分向北层对马暖流，经对马海峡进入日本海。在此之前也有一部分进入黄海称黄海暖流，具有风生补偿流特征。黑潮主干经吐噶喇海峡进入太平洋，沿日本列岛流向东北。在 35° N 附近分两支：主干转向东流直到 160° E，称黑潮延续体，一支在 40° N 附近与亲潮(OyashioCurrent)汇合转向东流汇于黑潮延续体，横过太平洋。西边界流每年向高纬输送热量，约同暖气团输送热量相等。

三、西风漂流(Westwinddrift)：

1.北太平洋漂流(NorthPacificdrift)：是黑潮延续体的延续。在北美沿岸附近分为两支：向南一支称为加利福尼亚流(CaliforniaCurrent)，汇于赤道流(EquatorialCurrent)；向北一支称为阿拉斯加流(AlaskaCurrent)，它与阿流申流汇合，连同亚洲沿岸南下的亲潮(OyashioCurrent)共同构成北太平洋高纬海区气旋式小环流。

2.北大西洋漂流(NorthAtlanticdift)：在欧洲沿岸附近分为三支，中支进入挪威海，称挪威海流(NorwegianCurrent)；南支沿欧洲海岸向南，称加那利流(CanaryCurrent)，在向南与北赤道流汇合，构成北大西洋反气旋式环流；北支流向冰岛南方海域，称伊尔明格流，与东、西格陵兰流及北美沿岸拉布拉多流(LabradorCurrent)构成。北大西洋高纬海区气旋式小环流。

3.南极绕极流(AntarcticCircumpolarCurrent)：由于南极海域连成一片，南半球西风飘流环绕整个南极大陆，是一支自表至底、自西向东的强大流动，其上部是漂流，下部为地转流。南极锋位于其中,大西洋和印度洋平均位置为 50° S，太平洋位于 60° S。极锋两侧海水特性、气候特征有明显差异。极地海区干冷、亚南极海区为极地气团与温带海洋气团轮流控制，季节性明显。

4.南极辐聚带(AntarcticConvergentZone)：风场分布不均，低温、低盐、高溶解氧的表层水在极锋向极一侧辐聚下沉。南极绕极流在太平洋东岸向北分支为秘鲁流(PeruCurrent)，大西洋本格拉流(BenguelaCurrent)，印度洋西澳流(WestAustraliaCurrent)。分别在各大洋中向北汇入南赤道流(SouthEquatorialCurrent)。

5.“咆哮 45° ”或“咆哮好望角”:频繁的气旋活动，降水量较多，海况恶劣。特别南半球的冬季，风与浪更大。

四、东边界流(Eastboundarycurrent)：

太平洋的加利福尼亚流(CaliforniaCurrent)、秘鲁流(PeruCurrent)，大西洋的加那利流(CanaryCurrent)、本格拉流，印度洋的西澳流(WestAustraliaCurrent)，都是寒流。他们的流幅宽、流速小、影响深度浅，水色低、透明度小。上升流是东边界流海区的一个重要水温特征。

原因：信风常年沿岸吹，风速分布不均，近岸小，海面大，海水离岸运动。另外，来自高纬海区的寒流，形成大气冷下垫面，上层大气层结稳定，有利海雾形成，因此干旱少雨。与西边界流区具有气候温暖、雨量充沛的特点形成明显的差异。

五、亚北极海流：气旋式环流(Cyclonalcirculation)

大西洋(Atlantic)：伊尔明格、东格陵兰(EastGreenland)、西格陵兰(WestGreenland)、拉布拉多(Labrador)、西风漂流(westwinddrift)。太平洋(Pacific)：阿拉斯加(Alaska)、阿留申、亲潮(Oyashio)、西风漂流(westwinddrift)。

六、极地环流(Polarcirculation)

北冰洋中的环流：从大西洋进入的挪威流及一些沿岸流。加拿大海盆为一巨大反气旋式环流，从楚奇科海穿越北极到达格陵兰海，部分西折，部分汇入东格陵兰流，把大量的浮冰携带进入大西洋。

南极海区环流：南极大陆边缘一个很窄范围内，极地东风作用，形成一支自东向西绕南极大陆边缘的小环流，称为极地东风环流。与南极绕极流间，形成南极辐散带(Antarcticdivergentzone)。与南极大陆间形成海水沿陆架的辐聚下沉，即南极大陆辐聚区(Antarcticconvergentzone)，亦是南极陆架表层海水下沉的动力学原因。

七、副热带辐聚区(Subtropicalconvergentzone)：

反气旋大环流的中间海域，流向不定，流速甚小。表层海水辐聚下沉——副热带辐聚区，把大洋表层盐度最大、溶解氧含量高的温暖水带到表层以下，形成次表层水。

副热带逆流(subtropicalcountercurrent):天气干燥晴朗，风力微弱，海面较平静。海水辐聚下沉，悬浮物少，具有世界上最高的水色和最大透明度，“海洋沙漠”。

马尾藻海：北大西洋 20—35°N，40—75°W，透明度最大。又称“马纬度”：南北纬30°，此处无风,运马的船在此处停留，船上的淡水不足，将马赶入海中，后称“马纬度”。

世界大洋上层铅直向环流赤道海区，海水输运有南北分量，导致海水的辐聚下沉与辐散上升运动，由于连续性，在一定深度上形成了经向的次级小环流。所处深度较浅，变动于 50—100m 之间。使赤道海区表面的热量和淡水盈余向高纬方输送，部分调节了热盐的分布况。

大洋水团及表层以下环流(WaterMass&UndersufaceCirculation)

一、大洋表层以下的环流(Undersurfacecirculation)

I.次表层水的运动和分布(Movementanddistributionofsubsurfacewater)

1）表层水(surfacewater)以下与大洋主温跃层以上的海水。

2）副热带海域的表层水下沉形成的。

3）高盐高温，只能下沉到表层水以下的深度上。

4）大部分水体流向低纬一侧，沿主温跃层散布，少部分流向高纬一侧。

II.大洋冷水区环流(Circulationofcoldwaterzone)

1.中层水的运动(Movementofintermediatewater)

1）南极辐聚区和西北辐聚区下沉的海水形成，带有源地低盐的特征。温度较低，故密度较大，分布在次表层水之下。

2）南极辐聚下沉的海水，温盐特征为 2.2°C 与 33.8，下沉到 800—1000m 深度上，一边参加南极绕极流，一部分水体向北散布进入三大洋。大西洋可达 25°N；太平洋可越过赤道，印度洋在南纬 10 度。

3）高盐中层水：北大西洋的高盐地中海水（温 13°C，盐 37）由直布罗陀海峡溢出，下沉到 1000—1200m 深度上，然后向西、西南和东北方向散布。印度洋中的红海高盐水（温 15°C，盐 36.5）通过曼德海峡流出，在 600—1600m 深度上沿非洲东岸向南散布，与南极中层水相遇发生混合。

2.大洋底层水的运动(Movementofbottomwater)

1）源地是南极大陆边缘的威德尔海、罗斯海，其次次为北冰洋的格陵兰海与挪威海等。普遍认为南极威德尔海是南极底层水的主要来源在冬季冰盖下海水（盐 34.6，温-1.9°C）密度迅速增大，沿陆坡下沉到海底，一方面加入南极绕极流向东流，一方面向北进入三大洋。主要沿洋盆西侧向北流动。在大西洋可达 40°N，与北大西洋深层水相遇，由于南极底层水密度更大，继续潜入海底向北扩散。

2)北冰洋底层水因白令海峡很浅，不可能进入太平洋，只在偶然情况下，少量海水通过海槛溢出而进入大西洋。因此北冰洋底层水处于几乎是被隔绝状态。

3.大洋深层水的运动(Movementofdeepwater)

1）深层水介于中层水和底层水之间，约在 2000—4000m 的深度上。主要由北大西洋格陵兰南部的上层海洋中形成。东格陵兰流与拉布拉多寒流向该区输送冷的极地水，与湾流混合后下沉（盐 34.9，温近 3°C）向整个洋底散布。在大洋西部接近 40°N，与来自南极密度更大的底层水相遇，在其上向南流去，直到南大洋。

2）贫氧是深层水的主要特征。

二、水团的定义和分析方法(Definitionofwatermass&analysis)

1、水团的定义：watermass

源地和形成机制相近，具有相对均匀的物理、化学和生物特征及大体一致的变化趋势，与周围海水存在明显差异的宏大水体。“内同性”“外异性”长期来把温盐特性作为分析水团的主要指标温盐图解判定水团的数目。

2、水团的分析方法(analysisofwatermass)

1）定性的综合分析方法（经验法）：定性描述

2）浓度混合分析方法：定量地确定水团边界和混合区

3）概率统计分析法：目前已被应用的主要有海水特征频率分析法，判别分析法、聚类分析法等

4）模糊数学分析方法：隶属函数描述一水体元对水团的隶属度

3、水型和水系（watertype&waterseries）

1）水型(watertype)：性质完全相同的水体元的集合

2）水系(waterseries)：符合一个给定条件的水团的集合。即只考虑一种性质相近即可。“沿岸水系”，“外海水系”，“暖水系”，“冷水系”。

4、水团的核心、强度、边界与混合区(Core、intensity、boundaryofwatermass&mixingzone)

核心：有一部分水体是该水团典型特征的代表，即为核心。黄海冷水团“冷中心”特征水平的升降反映水团特征型水平升降。核心位置的变动反映水团位置变动的趋向。

强度：描述水团增强减弱的情况，2 种强度指水团占据的空间范围特征水平，如高温水团，升温增强，低温水团，升温减弱。

边界与混合区：兼备内同性与外异性的这部分水体的外包络面。“域”“过渡区”“混合区”

混合带：大面图上，“海洋锋”；断面图上称“过渡层”“跃层”

三、大洋水团(Watermass)

1、表层水(surfacewater)：富溶解氧。

2、次表层水(subsurfacewater)：高盐

3、中层水(intermediatewater)：低盐；高盐中层水：地中海，红海

4、深层水(deepwater)：贫氧.

5、底层水(bottomwater)：高密。

6、海洋锋(seasharp)和中尺度涡(mesoscaleeddy)

中国海环流(CirculationofChinasea)

1.东中国海环流(CirculationofEastChinasea)

2.黑潮分支与主要作用(BranchofKuroshioanditseffect)

观测、研究及应用(Measurement,ResearchandApplication)

一、观测手段(Measuringmethod)

直读式海流计、打印海流计、安德拉海流计、ADCP

1、定点浮标(Anchoredbuoy)

2、漂流浮标(Driftbuoy)argo 浮标

3、声学多普勒海流计（ADCP:AcousticsDopplerCurrentProfiler）

4、遥感(Remotesensing)：微波高度计(microwavealtimeter)测表面流。

二、研究(Research)

1、调查资料分析

2、理论研究

3、数值分析

三、应用(Application)

军事、航运、渔业和气候等

第六章 海洋中的波动想象

概述(Summary)

一、波浪要素(Anatomyofawave)

波峰(crest/trough)(谷)，波长(wavelength)，周期(waveperiod)，波速(wavespeed)，波高(waveheight)，振幅(waveamplitude)，波陡(wavesteepness)，波峰线(crests)，波向线(waveray)

二、波浪类型(Wavetypes)

成因分：风浪(windwave)、涌浪(swell)、地震波、海啸(tsunami)

相对水深：深水波(deep-waterwave)、浅水波(shallow-waterwave)

波形传播：前进波(travellingwave)、驻波(standingwave)

发生位置：表面波(surfacewave)、内波(internalwave)、边缘波(marginalwave)

动力机制：开尔文波(Kelvinwave)、罗斯贝波(Rossbywave)

波浪分级：

小振幅重力波(GravitywaveofsmallAmplitude)

一、波形传播与水质点的运动(Waveformpropagationandthemotionofwaterparticles)

1.波剖面方程(equationofwaveprofile)：

波数(wavenumber);

频率(wavefrequency);

频散关系(dispersionrelation)：

深水波速(deep-waterwavespeed)：

浅水波速(shallow-waterwavespeed):：

3.水质点运动(motionofwaterparticles)

水质点运动速度随深度指数衰减；运动轨迹为圆(浅水为椭圆)；在波峰处有正的最大水平速度，波谷处负的最大水平速度，铅直速度为零。在平均水面上的水质点，水平速度为零，铅直速度最大。

水质点运动与波形传播(propagation)

二、波动能量(Waveenergy)

1、势能(potentialenergy)：

单位截面铅直水柱内的势能：

沿波峰线单位宽度一个波长内的势能

2、动能(kineticenergy)

波峰线方向单位宽度，自表至波动消失，一个波长所具有的动能。

3、总能量(totalenergy)：

4、能通量(fluxofwaveenergy)：

三、波动叠加(wavecomposing)

1、驻波(standingwave)：

两列振幅、周期、波长相等，传播方向相反的正弦波叠加。(Theyareprogressivewavesreflectedbackonthemselvesandappearasanalternationbetweenatroughandacrestatafixedposition.)

波腹(antinodes)：波面具有最大的升降；

波节(nodes)：无升降；波形不传播，故称驻波。

水质点运动速度：

波节处只有水质点的水平运动分量 u，波腹处只有铅直分量 w；波面上各点

2、波群(wavegroup)：

两列振幅、周期、波长相近，传播方向相同的正弦波叠加。

合成后波动以振幅(waveamplitude)

波速(wavespeed)

振幅变化的速度：群速(groupspeed-----Thespeedatwhichwaveenergyis transportedawayfromitssource)

变化周期(waveperiod)

群速(groupspeed)：

有限振幅波(WaveofFiniteAmplitude)

一、有限重力波(gravitywaveoffiniteamplitude)

相对于小振幅波而言，有限振幅波有较大振幅。与实际海浪的形状更接近。如 Stokes 波，摆线波、孤立波等。

1、波面(wavesurface)：对于横轴不对称，水质点振动中心高于平均水面。

2、波速(wavespeed)：与波长有关，还与波高有关。当波陡愈大时，波速也愈大。

近似公式：

当 δ 很小时，蜕变为小振幅波速的形式。

3、水质点运动轨迹(water-particleorbits)：

接近为圆，但在一个周期内不封闭。有净位移，此水平位移称“波流”。波流可解释物质输运现象。对海流、波浪成长及泥沙输运有一定影响。

4、能量(energy)：动能(kineticenergy)>势能(potentialenergy)

5、波浪破碎(wavebreaking)：波陡(wavesteepness)达一定限度，波峰就会破碎。

海洋内波(InternalWave)

研究意义：能量传递、混合等；海洋生物生长；声波传输；潜艇航行和停留等。

一、界面内波(Interfaceinternalwave)：（密度不同两层海水界面处）

1、波速(wavespeed)：

具有相同波长(wavelength)的界面波(interfacewave)与表面波(surfacewave)波速比为1/20。

慢镜头

2、振幅(amplitude)：界面内波比表面波振幅大 30 倍。

3、能量(energy)：

4、水质点运动(water-particleorbits)：

上下两层海水水平运动方向相反，界面处形成强烈的流速剪切。同一层流速方向相反，形成辐聚与辐散。

二、密度连续变化海洋中的内波(Internalwaveintheoceanwithitsdensitycontinuous changing)

1、内波的恢复力(restoringforceofinternalwave)：

弱化重力（重力与浮力之差）

2、内波的频率(frequencyofinternalwave)：

介于惯性频率与 Brünt-V a is a l a 频率之间。

3、内波传播方向(directionofinternalwavepropagating)：

一般沿与水平方向成一角度传播，频率(frequency)越高，夹角越小。

4、内波能量的输送(energytransportationofinternalwave)：

能量以群速传播，但群速与波速量值不同，传播方向垂直，在同一铅直面上。

5、内波的反射(reflectionofinternalwave)：

群速的入射与反射与铅直方向夹角相等。

开尔文波与罗斯贝波(KelvinwaveandRossbywave)

一、开尔文波(Kelvinwave)：

长周期重力波(gravitywave)，同时受重力(gravity)和科氏力(coriolis force)作用。是右界波振幅为 a 的自由长波)，通过一无限长，具有侧向铅直边界，水深为 h 的水道时波动。波动振幅是 y 的函数，波峰处，波面右高左低，波谷处左高右低。

即右岸波高大于左岸。

二、罗斯贝波(Rossbywave)：

亦称行星波,是一种远小于惯性频率 f 的低频波，恢复力(restoringforce)是科氏力随纬度

的变化率。

风浪和涌浪(WindwaveandSwell)

风浪和涌浪(Windwaveandswell)

一、定义(definition)

1、风浪(windwave)：

当 地 风 产 生 ， 且 一 直 处 在 风 的 作 用 之 下 的 海 面 波 动 状 态 。(Theyaregeneratedbythewind,restored

bygravity,andprogressinaparticulardirection.)

2、涌浪(swell)：

海面上由其他海区传来的或当地风力减小、平息，或风向改变后海面上遗留下的波动。(Whenthewavesmoveoutof

thestormcenter,forcedwavesbecomefreewavesmovingatspeedsdueto

theirperiodsandwavelengths.Onceawayfromthestormthese

long-period,uniformwavesarecalledswell.)

二、决定因素(determinants)

“风大浪高”“无风不起浪”

1、风速(windspeed)：风力大小；

2、风时(windduration)：状态相同的风持续作用在海面上的时间；

3、风区(fetch)：状态相同的风作用的海域的范围。

三、风浪成长状态(phasesofwindwave)

定常态：某点的风浪尺度达到理论上的最大值；

过渡态：某点风浪未达理论最大，随时间的推移，还可继续增长；

最小风时：对应风区内某点，风浪达到定常状态所用的时间。

最小风区：实际风时一定，对应某一风区内的波浪达到定常态，此一风区长度称为最小风区。

判别风浪的状态：

风时>最小风时，风浪是过渡态，反之定常态；

风区>最小风区，风浪是定常态，反之是过渡态。

充分成长：

波浪在成长过程达到一定尺度后，摄取与消耗能量达到平衡时，波浪不再增大。

动画

四、涌浪传播(propagationofswell)

波高逐渐降低，波长、周期逐渐变大，从而波速变快。

原因：摩擦消耗及弥散作用、角散作用

弥散作用：

不同波长、周期、振幅的分波在传播过程中波长大的速度快，短的速度慢，使原来叠加一起的波分散开。(Thefaster,longerwavesgraduallymovethroughandaheadoftheshorter,slowerwaves,thisprocessiscalledsortingordispersion.)

角散作用：各分波传播方向不同，在传播中向各方向分散开来。传播速度快，距离长。

拍岸浪、先头涌

浅海和近岸海浪(Offingandcoastalwaves)

一、波速、波高变化(changesofwavespeedandwaveheight)：

波速变小(从短波与波长有关 $C*C=g\lambda/2\pi$，在浅水为与水深有关 $C*C=gh$)，周期保守，波长变小。

二、波向转折(deflectionofwaveray)

$\sin\alpha 1=AA'/A'B;\sin\alpha 2=BB'/A'B$

则有：$\sin\alpha 1/\sin\alpha 2=AA'/BB'$

又由 $AA'=c1dt;BB'=c2dt$；

有 $\sin\alpha 1/\sin\alpha 2=c1/c2$

由 $h1>h2$,则 $c1>c2$，则 $a1>a2$

波峰线有逐渐与等深线平行的趋势，也就是波向线与等深线逐渐垂直的趋势。海底凸出的海岬处，波向线辐聚(converge)，出现大浪；而在凹进的海湾处，波向线辐散，波浪较小。

三、波高变化(changesofamplitude)

能量守恒(conservationofenergy):

称折射因子，波向线辐聚时，L0>L,折射因子大于 1，能量集中，波高增大(海岬)。

称为地形因子，波浪从深水进入浅水，波高略有降低，然后随相对深度的减小而迅速增大。

四、波浪破碎、沿岸流沿岸流与离岸流(wavebreaking,coastalcurrentandripcurrent)

1、波浪破碎(wavebreaking)：风大；波浪传到浅水波长变短，波陡增大；海底摩擦(bottomfriction)；波峰、谷处相速不同，波面变形；浅滩、沙丘、暗礁。

2、破碎类型：溢波(spillers)、卷波(plungers)、崩波、溃波。

离岸流，沿岸流，物质输动，海湾沙丘

五、反射和绕射(reflectionanddiffraction)

1、波浪遇陡峭的海岸反射形成驻波(standingwave)。

2、防波堤(breakwater)的效用

3、遇障碍物绕射，波高明显减少。

观测、研究及应用(Observation,StudyandApplication)

一、观测(Observation)

1、浮标测波仪(buoywaverecorder)：

测波面加速度变化（放在水面，跟随波面测定波面的加速度变化）

2、悬线(suspendedline)：

测电容变化。悬线入水，电容变化量与进水高度有关，订正后得到波高。

3、压力式测波仪(pressuregaugetypewaverecorder)：

波动中压力变化。仪器固定，压力变化反应波高变化。

4、人工观测(manualobservation)：

目测；

用光学测波仪：

与浮筒配合，确定仪器与浮筒的位置、俯视角及平均海面高度，看浮筒位置的变化推算波高（三角原理）

5、遥感(remotesensing)：

高度计(Altimeter)（有效波高(significantwave

height)）、合成孔径雷达 SAR（方向谱）、地波雷达（有效波高和波向）

二、研究方法(Methodsofresearch)：

1、谱分析方法（随机运动）(spectrumanalysismethods)

2、波面（波动方程）(waveequation)

三、应用(Applications)：

1、航海(navigation)

2、工程(project)：海浪破坏力和过水问题。

对建筑物的破坏力，单一大浪有限，严重的是波群，周期性持续拍击，可能与共振有关。

3、波浪发电(producingpower)：能量贮备大，但破坏力也大。

4、国防军事(nationaldefence)：潜艇、声纳

第七章 潮汐

概述(Summary)

一、定义(Definitions)

1.潮汐(tide)：

物体在天体引潮力的作用下所产生的周期性运动。(Objects'periodicmovementcausedby spheres'gravitationalattraction)

2.对固体：称固体潮(bodilytide)；对大气的周期性运动称大气潮(atmospherictide)；对海水，叫海潮(oceanictide);习惯上将铅直向涨落称潮汐(tide)，水平方向的流动称潮流(tidalcurrent)。

二、研究意义(Meaningsofstudy)

国防，动力资源，航运，海岸建筑，渔业生产，生物采集，风暴潮

三、基本要素(Basicelements)

高潮与低潮(highwater&lowwater)

平潮(slacktide)与停潮

高潮时与低潮时

涨潮(floodtide)时与落潮(ebbtide)时

潮差

平均海面(meanseasurface)

四、分类(Patterns)

1、正规半日潮(regularsemidiurnaltide)：一个太阴日（24 时 50 分）内，有两次高潮两次低潮，潮差相等。

2、全日潮(diurnaltide)：一个太阴日（24 时 50 分）内，有一次高潮一次低潮。

3、混合潮(mixedtide)：一个朔望月(lunarmonth)内，既有半日潮，又有全日潮。包括：

(1)不正规半日潮(irregularsemidiurnaltide)：一个塑望月内的大多数日子是半日潮，少数日子是全日潮。

(2)不正规日潮(irregulardiurnaltide)：一个塑望月内的大多数日子是日潮，少数日子是半日潮。

五、潮汐不等现象

潮汐日不等现象：

高高潮(higherhighwater)、低高潮(lowerhighwater)；

高低潮(higherlowtide)、低低潮(lowerlowtide)；

塑望大潮(springtide)、两弦小潮(neaptide)。

与潮汐现象有关的天文知识(KnowledgeaboutTide)

一、天球(Celestialsphere)

1.天球(celestialsphere)：是一个以地球为中心(theearthasitscenter)，以无限长为半径(infinitelengthasitsradius)，内表面分布着各种各样天体的球面。

2.天极(celestialpole)与天轴(celestialaxis)：天轴指的是将地轴(earthaxis)无限延长所得到的一根假想的轴。天轴与天球的交点(intersectionpoint)叫天极，南北天极

3.天球赤道(celestialequator）：赤道(equator)向外无限延伸与天球所交的圆圈。

4.天顶(vertex)与天底(nadir):观测点的铅垂直线(plumblineoftheobservingpoint)无限延伸后与天球交于两点，向上与天球的交点称为天顶，而向下延伸与天球的交点，称为天底。

5.天子午圈(celestialmidheaven)：以地心为圆心(theearth'scoreasthecenterofacircle)，过天极和天顶的大圈。

6.天体时圈：以地心为圆心，过天极和天体(celestialbody)的大圈

7.天体方位圈(celestialbodyazimuthcycle)：以地心为圆心，过天顶、天底和天体的大圈。

8.天体中天(celestialtransit)：天体通过天子午圈叫中天。上中天(superiortransit)：靠近天顶；下中天：靠近天底。

9.时角：观测者所在的天子午圈与天体时圈在天赤道上所张的角度。当天体上中天时，时角为 0°，西行为正。

10.天顶距(zenithdistance)：在天体方位圈上，天体与天顶之间所张的角度。

11.赤纬：从天赤道沿着天体的时圈至天体所张的角度称为该天体的赤纬，常用 δ 表示。以天赤道为赤纬 0°，向北为正，向南为负，分别从 0°到 90°。

12.黄道(ecliptic)、白道：太阳的周年视运动轨道(orbitoftheannualapparentmotionofthesun)叫做黄道。

月球绕着地球公转(revolution)的结果使得月球在天球上也有一个视运动的轨道，这个轨道称为白道。

13.黄赤交角(obliquityoftheecliptic)：黄道面与天赤道面的交角为 23°27′。

黄白交角：白道面与黄道面的平均交角为 5°09′。

白赤交角：白道面与天赤道面的交角为 23°27′+5°09′或 23°27′-5°09′。

14.春分点(vernalequinox)，秋分点(autumnaequinox)：黄道与天赤道交点，从南向北通过天赤道为春分点，从北向南为秋分点.

夏至点(theSummerSolstice 或 midsummer)，冬至点(midwinter)：黄道所能达的最北点为夏至点，最南点为冬至点。

升交点，降交点：白道与黄道交点，从南向北通过黄道为升交点，北向南为降交点。

二、时间单位(Timeunit)

1.平太阳日：平太阳连续两次经过上中天的时间间隔。

1 平太阳日=24 平太阳时

平太阳时：1/24 平太阳日

2.平太阴日：平太阴连续两次经过上中天的时间间隔。

1 平太阴日=24.8412 平太阳时(约 24h50min)

平太阴时：1/24 平太阴日

3.平太阳年：从春分点(vernalequinox)出发回到春分点时间间隔(interval)

4.回归月(tropicalmonth)：从赤白交点出发在回到赤白交点所用的时间。长度为：27.32 平太阳日

朔望月(lunar

month)：月球从新月(crescent)位置出发再回到新月位置的时间间隔。日地月三者关系与月相变化周期，长度 29.5306 日月相与大潮(spring

tide)，小潮(neaptide)

引潮力(TidalForces)

一、吸引力(Gravitation)

万有引力(universalgravitation)：与 M 成正比，与 R*R 成反比,方向沿连线

二、惯性离心力(Inertialcentrifugalforce)

地月绕公共质心(commoncentroid)公转平动，各点受惯性离心力相等。与地心所受月球引力(lunargravitationalforce)大小相等，方向相反。

三、引潮力(Tidalforce)

地球上单位质量物体(受月球引力(lunargravitationalforce)和地球绕公共质心运动产生的惯性离心力合力(compositeforceofInertialCentrifugalForce)。

四、引潮力公式展开及讨论(Deploymentanddiscussion)

与质量(mass)成正比，与距离(distance)的立方成反比。

1.垂直引潮力，水平引潮力

垂直引潮力与重力相比：只是重力(gravity)的千万分之 0.56-1.12。

2.太阴引潮力与太阳引潮力相比：

约 2.17 倍(E=81.5M,S=333400E,D=60.3r,D’=389D）

3.月球与金星(Venus)（离地球最近）相比：近 2 万倍(S1=0.815E，D1=108.92D)

因此，海洋潮汐现象主要是月球产生的。

五、引潮势(Tidalpotential)

自地心(theearth'scenter)移动单位质量物体克服引潮力所做功。

太阳引潮势，太阴引潮势

潮汐理论(TidalTheory)

平衡潮理论(EquilibriumTidalTheory)

十七世纪牛顿(Newton)《自然哲学的数学原理》

一、等势面

从地心移动单位质量物体到某一点，克服重力和引潮力所作的功，叫该点位势，位势相等的面叫等势面。

椭球形等势面：

由于在地月连线上引潮力方向与重力方向相反，在垂直地月连线的大圆上引潮力方向与重力方向相同，因此，考虑引潮力后的等势面就变成椭球形，这个椭球的长轴指向月球。

二、潮汐静力理论(Equilibriumtidaltheory)

1.假设(assumptions)：

1)圆球，等深海水覆盖(coveredwithauniformlayerofwater)；

2)海水无粘性(withoutviscosity)，无惯性(withoutinertia)；

3)不受地转偏向力和摩擦力(withoutCoriolisforceorfrictionforce)作用。

2.形成潮汐椭球：

在重力、引潮力作用下海面变成椭球形，长轴恒指向月球。地球自转，地球表面相对椭球形海面运动，使固定点发生周期性的涨落。

3.结论：

1)赤道(equator)永远出现正规半日潮(semidiurnaltide)；

2)月赤纬不为 0 时，高纬地区出现正规日潮(diurnaltide)；其他纬度出现日不等现象。

3)同时考虑月球和太阳对潮汐的效应，在朔望(syzygy)之时，长轴方向靠近，两潮叠加形成大潮(springtide)；上、下弦之时，两潮抵消形成小潮(neaptide)。

三、潮高公式及讨论(Formulaanddiscussion)

按平衡潮理论，海面(seasurface)与考虑引潮力后的等势面重合。

（一）等势面，重力势，引潮力势

1.平衡潮最大可能潮差 78cm。

2.平衡潮潮高另一种形式：用月赤纬、时角替换天顶距(zenithdistance)。可分出长周期潮(longperiodic

tide)、全日潮(diurnaltide)、半日潮(semidiurnaltide)。

（二）.潮汐不等现象：

1.日不等：

月赤纬不为零，除高纬，地球上各点潮汐都为半日潮与全日潮叠加，出现日不等现象。

月赤纬增大，日不等现象显著，最大时称为回归潮(tropicaltide)；

月赤纬为零，地球上各点潮汐都为正规半日潮，称为分点潮（equinoctialtide）。

2.朔望潮，两弦潮：太阴、太阳时角差。出现半月不等现象。

3.月球近地点月不等；地球近日点年不等；

4.月赤纬 18.61 年变化周期；月球近地点有 8.85 年的变化周期。

四、分潮与假想天体(Partialtideandimaginarycelestialbody)

1.假想天体(imaginarycelestialbody)：

实际海洋潮汐认为是许多简单波动的叠加，每个单一波动都对应有一个天体，即“假想天体”。

许多“假想天体”共同作用逼近实际天体作用。

2.分潮(partialtide)：

每个假想天体对海水作用引起的潮汐称为分潮。主要分潮有 11 个，半日分潮(semidiurnalpartialtides)：M2,S2,N2,K2;全日分潮(diurnalpartialtides):K1,O1,P1,Q1;3 个浅水分潮：M4,MS4,M6(地形(topography)和干涉效应(effectofinterference)引起的分潮)

按分潮性质对潮汐分类：

(HK1+Ho1)/HM2<0.5 半日潮(semidiurnaltide)；0.5<=(HK1+Ho1)/HM2<2.0 混合潮中的不正规半日潮(irregularsemidiurnaltideofmixedtide)；2.0<=(HK1+Ho1)/HM2<=4.0 混合潮中的不正规日潮(irregulardiurnaltideofmixedtide)；(HK1+Ho1)/HM2>4.0 全日潮(diurnaltide)。

五、评价(Appraisement)

1.贡献：

潮汐的发生(tides'occurrence)，潮汐不等，分潮振幅(amplitudeofpartial
tide)，周期(period)

2.缺点：

1)潮差(tidalrange)

2)潮汐类型(tidepatterns)

3)潮汐间隙(tideinterval)

4)潮流(tidalcurrent)

5)无潮点(amphidromicpoint)

潮汐动力理论(DynamicTidalTheory)

一、概述(Summary)

十八世纪拉普拉斯（Laplace,法国）将潮汐理论向前大大推进一步。用流体力学观点研究海洋中的潮汐，建立描述潮汐运动的方程。

潮汐动力理论基本思想是从动力学观点研究海水在引潮力作用下产生潮汐运动。此理论认为，对于海水运动，只有水平引潮力重要，垂直引潮力和重力相比非常小，因此所产生的作用只是使重力加速度(accelerationofgravity)产生极微小变化，故不重要。

海洋潮汐实际上是海水在月球和太阳引潮力作用下的潮波运动，即水平方向的周期运动和海面起伏的传播，受到海陆分布、海底地形(seafloortopography)、地转偏向力(Coriolisforce)及摩擦力(Frictionforce)等因素影响。

二、潮差(Tidalrange)

1.最大潮差在海湾(bay)内。北美芬地湾大潮潮差达 15m,钱塘江海宁潮差达 8m，仁川港最大 9m。

2.原因：

海湾潮汐两个来源：一是天体引潮力直接形成，称独立潮；二是相邻海洋中传入。海湾面积小，独立潮不超过几厘米，主要是外海传入与地形作用结果。

北美芬地湾的固有振动周期与半日潮相近，形成共振(resonance)。

杭州湾地形呈喇叭形，水域愈来愈小，潮能愈集中，使潮波增高。常发生涌潮(tidalbore)，淡水下泻很重要。

仁川港潮差比青岛大，原因一是离无潮点远，一是地形影响，前者处于海湾湾底。

三、旋转潮波(Rotarytidalwave)

实际海洋中的潮波(tidalwave)，可能是前进波(travelingwave)、驻波(standingwave)，普遍形式是旋转潮波，波峰线(wavecrestline)绕无潮点旋转。形成原因很多，介绍一种简单的较常见的情况。在北半球，一般为顺时针(clockwise)旋转，南半球相反，所以与科氏力的影响有关。另外受地形(topography)影响，同潮时线是从无潮点发出的射线，等振幅线是绕无潮点的同心圆。

四、潮流(Tidalcurrent)

1、定义(definition)：同潮汐现象同时发生的，海水水平方向上的周期性运动称为潮流。

2、按潮流的运动形式分(patterns)：

1)往复流(to-and-frocurrent)：流向、流速沿某一方向来回周期变化。

2)前进波(travelingwave)：潮流转向在半潮面

3)驻波(standingwave)：潮流转向在高低潮。

4)旋转潮流(rotarytidalcurrent)：流速(speed)和流向(direction)随时间变化。（见右图）

五、半日潮时简易算法(Arithmetic)

1.高潮时=月中天时刻+平均高潮间隙

低潮时=月中天时刻+平均低潮间隙

高潮间隙(highwaterinterval)：月中天时刻到高潮时刻时间间隔

低潮间隙(lowwaterinterval)：月中天时刻到低潮时刻时间间隔

2.上半月:高潮时=(阴历数-1)*0.8+该港平均高潮间隙

低潮时=(阴历数-1)*0.8+该港平均低潮间隙

下半月:高潮时=(阴历数-16)*0.8+该港平均高潮间隙

低潮时=(阴历数-16)*0.8+该港平均低潮间隙

风暴潮(StormSurges)

一、定义(Definitions)：

1.风暴潮(stormsurges):指由于强烈的大气扰动(strongairdisturbance),如强风(strongwind)和气压(airpressure)骤变所招致的海面异常升高(sealevel'sabnormalelevation)现象。

2.风暴潮水位：从验潮曲线中把天文潮(astronomictide)和风暴潮(stormsurges)分离开是首要任务。从动力学观点，二者是非线性耦合，分离开很难。通常做法采用线性叠加原则分离法。

二、分类(Sorts)

按照诱发风暴潮的大气扰动(airdisturbance)的特征分类：

1.热带风暴（tropicalstorm 即台风(typhoon)、飓风(hurricane)）：夏秋季常见

三个阶段：先兆波、主振阶段、余震阶段。

2.温带气旋(cyclone)：主要发生于冬、春季。

3.风潮(windtide)：

中国北方黄渤海地区所特有，在春、秋过渡季节，由寒潮(coldwave)或冷空气(coldair)所激发的风暴潮是显著的

三、风暴潮预报(Forecastofstormsurges)

分两大类：

1）经验统计预报；2）动力-数值预报。简称“经验预报”和“数值预报”。

1.经验预报：

用回归分析和统计相关建立风(wind)和气压(airpressure)与特定港口的经验预报方程或相关图表。

2.数值预报：

中国海潮汐(TidesinChinaSea)见图

观测、研究及应用(Observation,StudyandApplication)

一、观测手段(Observationmeasurements)：

1.验潮井：竖管，侧向水平进水口，布设仪器：

浮筒：与圆轴（变速系统：轴大小有限，与潮差有关),记录纸、笔、随时间的拖动系统相连,1min 平均

压力式验潮仪：（可直接在外海使用）压力变化反映水位，三种：

两探头(doubleprobes):内测水压，外测气压，仪器内部设置订正；

单探头(singleprobe)：若有管通水下，不需订正，若无管，则需外测气压，测量后订正。

超声验潮仪：超声测矩仪，声波(soundwave)打到水面反射(reflectioninwatersurface)。

以上采样时间是 1 分钟，采样间隔可设定，一般 10 分钟、15 分钟，潮汐报表是 1 小时，但必须有高、低潮时间和潮高。

2、水尺（watergauge,属人工观测）：

一般 1 小时一次，每次 1 分钟平均（目测），高低潮时加密至 10 分钟。

二、预报方法：

调和分析预报：从实测数据中分析得到调和常数。

数值方法：数值计算得到调和常数，然后用调和分析方法预报潮汐。

三、应用(Application)

1、海岸工程设计标高(designedelevation)

2、港口浅水码头进出港

3、海水养殖(mariculture)：封闭式的养虾池

4、盐场

5、发电(powergeneration)

6、军事：登陆与反登陆，布设水雷（水压引信）

四、一些面的定义(Definitionsoffaces)：

1、平均海面(meanseasurface)：由验潮仪(tidalmeter)观测的水位取平均值。

2、平均海平面(meansealevel)：平均海面高度平静的理想海面

3、陆地高程(terrestrialelevation)：

平均海平面起算的陆地高度。通常对于一个国家和地区采用地壳条件(conditionoflithosphere)比较稳定的验潮站的平均海平面作为基准。不同国家和地区采用不同的基准。我国为 85 国家高程 243cm（56 高程 239)

4、海图深度基准面(datumplane)与海图水深：

算水深的起算面。通常采用低于平均海面的一个面，视当地潮差而定，并且该面绝大部分时间在水内。

5、水尺零点(zeropointofwatergauge)：

某站水位纪录起始点。岩壁上固定标尺，有铜字的标记为零点

第八章 大气与海洋

气候系统(ClimateSystem)

1．气候系统的组成(Makeupofclimatesystem)：

由五个主要分量构成的综合系统，这五个相互联系和相互作用的分量是：大气圈(atmosphere)、水圈(hydrosphere)、冰雪圈、岩石圈(lithosphere)和生物圈(biosphere)。

概念：既包括大气和海洋等子系统内部的各种过程，又反映了各个子系统间的相互作用。

*天文因素（主要是太阳活动）是影响气候系统的主要外部因素。

*大气运动及气候的状态和变化同太阳辐射(solarradiation)有重要的关系。

*太阳辐射(solarradiation)为大气和海洋的运动以至生物活动提供了最基本的能源。

*太阳活动引起的太阳辐射的改变也必然对地球气候及其变化发生重要影响。

2．气候系统的性质(Characterofclimatesystem)：

1）各子系统是开放的非孤立系统。从能量角度看是非孤立系统，其内部是串级系统；从物质交换角度看则是准孤立系统，内部是一个准封闭的串级系统。物理过程包括穿越边界的能量、动量和物质输送，

且生成了大量反馈机制。

2）各分量是非均匀的热力学——动力学系统(energetic&dynamic

system)。他们可以用化学组成，热力学及力学状态加以描述。

3）各不同分量的估计时间尺度在不同子系统之间变化很大，甚至在同一个子系统内变化也很大。研究时可依序考虑内部系统和外部系统。

4）气候系统主要由两个外强迫来制约全球行为。即太阳辐射和重力。太阳辐射是主要因子，提供了驱动气候系统的几乎所有能量。

海洋在气候系统中的地位

(Ocean'sImportanceInClimaticSystem)

海洋是地球气候系统的最重要组成部分。

具有如下性质：

1）全球海洋吸收的 Qs 占进入大气顶的总 Qs 的 70%左右。因此海洋，尤其是热带海洋，是大气运动的重要能源。

2）海洋有着极大的热容量(capacity)。相对大气运动，海洋比较稳定，运动和变化比较缓慢。

3）海洋是地球大气系统总 CO_2 最大的汇(pool)。

以上性质，决定了海洋对大气运动和气候变化具有不可忽视的影响。

1、海洋对大气系统热力平衡的影响(Ocean'seffcttoatmosphericenergeticbalance）

（1）吸收 Qs 的 70%的绝大部分（85%）储存于海洋表层（混合层）中。这些能量将以潜热(latent

heat)、长波辐射(long-waveradiation)和感热交换的形式输送给大气，驱动大气的运动。

（2）海洋环流在大气系统能量输送和平衡中的重要作用。30%的经向能量输送由海洋承担。

2、海洋对水汽循环的影响(Effectofoceantovaporcirculation)

大气中水汽量的 86%由海洋提供。尤其低纬度海洋，是大气水汽的主要源地。

3、海洋对大气运动的调谐作用（Effectofoceantoatmospheremovement）

海洋的运动和变化具有明显的缓慢性和持续性。一是将大气环流变化信息存于海洋中，再对大气产生作用。二是海洋的热惯性使海洋状况的变化有滞后效应。

4、海洋对温室效应的缓解作用(Catabaticeffectofoceantogreenhouseeffect)

海洋环流减小了低纬大气的增热，使高纬大气加热，降水量亦相应改变。而且大气对某些因素变化的敏感性降低。减少大气中二氧化碳含量。

海洋与大气相互作用的基本特征

(CharactersofInteractionofOceanandAtmosphere)

在相互制约的大气——海洋系统中，海洋对大气的作用主要是热力的(energetic)，大气对海洋的作用主要是动力的(dynamic)。

1．海洋对大气的热力作用（Energeticeffectfromoceantoatmosphere）：

海洋，特别是热带海洋，是驱动大气系统运动的重要能量来源。提供热量方式有潜热(latentheat)和感热两种，主要是潜热(latent

heat)，要求水汽辐合上升，即相应的大气环流条件。

大洋环流(circulation)影响海洋热含量的分布及向大气的热量输送过程。是全球尺度特征。

2．大气对海洋的风应力强迫(Wind force from atmosphere to ocean)：

大洋环流与风应力强迫有密切关系。

3．海洋上混合层(UML,简称海洋混合层)(Mixing layer of upper ocean)：

对气候和大气环流变化，海洋混合层十分重要。混合层的辐合(Convergence)、辐散(Disvergence)过程通过 Ekman 抽吸效应影响深层海洋环流；深层海洋环流通过改变混合层的状况对大气运动影响。

太阳辐射能(solarradiation)通过影响混合层而成为驱动整个海洋运动的重要原动力。

ENSO 及其对大气环流的影响

(ENSOAndItsEffectToAtmosphericCirculation)

1．ENSO，El~Nino、南方涛动和 La~Nina 定义(DefinitionofENSO)：

ENSO 是厄尔尼诺(El~Nino)和南方涛动（SouthernOscillation）的合称，二者有非常好的相关关系。当赤道东太平洋表层水温（SST）正距平，南方涛动指数往往是负。

ENSO 成为大尺度海气相互作用以及气候变化研究的中心课题。

厄尔尼诺 El~Nino：圣诞前后，沿厄瓜多尔和秘鲁沿岸，出现一弱的洋流，代替了通常对应的冷水。近年指一种更大尺度的海洋异常现象，整个赤道东太平洋表现振幅达几摄氏度的增暖。与此相

联系，海洋和大气环流发生很大的异常。

Onthesheltteredorleesideofthetropicallandmasses,underthetradewindofthePacific,theupwellingofdeepoceanicwaterisanearlyconstantprocess.Fromtimetotime,thisprocessfalters;thetradewindsstrengthen,andwarmtropicalsurfacewateraccumulatesonthewestsideofthePacific.Thiseventisfollowedbythewindlosingtheirdrivingforce;theupwellinglessens,andthemassofwarmwesternPacificwatermoveseastwardacrosstheoceantoaccumulatealongthecoastofAmericas.ThissequenceofeventsisknownasEl~Nino.

南方涛动（SouthernOscillation）：热带东太平洋与热带东印度洋气压场反相变化的跷跷板现象。

AtmospherepressureincreasesononesideofthePacific,decreasesontheother,andthenreverses.ThisphenomenaiscalledSouthernOceanOscillation.

南方涛动指数（SOI）：塔希提（Tahiti）岛与达尔文岛之间的气压差。

拉尼娜 La~Nina：冷水事件，是 El~Nino 恢复到正常状态的过渡过程。

2．El~Nino 和 La~Nina 事件对大气环流及全球气候变异的影响(EffectofEnso):

由于赤道东太平洋 SST 异常(El~Nino 现象)，大气中的 Hadley 环流将会增强。ITCZ(赤道辐合带)的位置有明显的东移趋势，这必将影响西太平洋台风运动。对西太平洋副热带高压活动有明显的影响，包括副高位置和强度。与

El~Nino 年 ITCZ 位置偏南相匹配，西太副高也偏南。而在 La~Nina 年副高脊线较常年偏北。

全球范围的气候异常。南美东岸的环流上升支西移到了南美西岸，积云对流活动在秘鲁沿岸极为强烈，造成哥伦比亚、厄瓜多尔和秘鲁等地持续大雨(83~84 秘鲁 340 倍)。而南亚、印度尼西亚和东南非洲的大范围干旱。厄尔尼诺使中高纬度西风加强，阿留申低压往往比正常时强，因而常给北美西岸造成频繁的强风暴活动，暴风雨和风暴浪潮严重。

对中国气候也有明显影响。

众多的气候灾害说明厄尔尼诺和拉尼娜现象影响大气环流从而导致全球气候异常。

大气环流(AtmosphericCirculation)

气压带和风带及季节变化

(PressureBelts,WindBandandSeasonalChanges)

一、地球大气的成分(Compositionoftheair)

1、组成(composition)：地球大气由多种气体组成，并掺有一些悬浮的固体和液体微粒。在 85km 以下的各种气体成分中，一般可分为两类。一类称为定常成分，这些气体主要是氮(N_2)、氧(O_2)、氩(Ar)和一些微量惰性气体如氖(Ne)、氪(Kr)、氙(Xe)及氦(He)等；另一类称可变成分，包括水汽(H_2O)、二氧化碳(CO_2)、臭氧(O_3)和一些碳、硫、氮的化合物。

2、干洁大气(dryair)：通常把除水汽以外的纯净大气称为干洁大气，简称干空气。其中氮、氧、氩三种气体就占了空气容积的 99.66%。其他的及其微少。氧气占地球大气质量的 23%，除了游离存在的氧气以外，氧还以硅酸盐、氧化物和水等化合物形式存在，在高空则还有臭氧及原子氧。臭氧(ozone)主要分布在(10~40)km 高度处，近地面含量很少，极大值在(20-25)km 附近。具有强烈吸收太阳紫外辐射(0.2μm-0.3μm)的能力，对气候变化和人类生活会带来巨大影响。大气的高层，主要成分仍为氮和氧，其他气体的含量减少。大气中二氧化碳(carbondioxide)只占整个大气容积的万分之三，多集中在 20km 以下。二氧化碳能强烈地吸收地球表面发出的长波辐射并放出长波辐射。“温室效应”将引起严重的气候问题。

3、含有水汽的空气称为湿空气(wetair)。大气中水汽仅占地球总水量的 0.001%。大气中水汽的主要来源是水面，特别是海洋表面的蒸发。

二、大气垂直分层(Verticalstructureoftheatmosphere)

1、对流层(troposphere)：

高度—地面到对流层顶温度随高度增加而降低铅直混合强;气象要素水平分布不均匀。温度平均递减率 6.5K/km,最低-50~-70 度。集中了大气质量的 3/4 和几乎全部水汽。主要天气现象和过程都发生在这一层。当温度平均递减率 2K/km 的最低高度，规定为对流层顶层,其高度随季节和纬度而变化。低纬 15－20km，极地和温带 8－12km。

2、平流层(stratosphere)：

对流层顶到 50km 左右。温度低层无变化，上部随高度增加明显增高。上界温达 0 摄氏度，最高温可达 7 摄氏度。几乎无天气现象，由于尘埃很少，大气透明度很高。（臭氧）

3、中间层(mesosphere)：

平流层顶到 80－85km。温度随高度增加降低，到层顶降到-90oC。是大气最冷的部分。水汽极少，但高纬黄昏前后偶尔存在夜光云。强烈铅直运动。

4、暖层、热成层(thermosphere)：

中层顶到 800km。温度随高度而增加。小于 0.17μm 紫外线几乎全被该层吸收。温度达 1000k 以上。温度日变化显著，还受太阳活动影响。高纬度出现极光现象。

5、散逸层(ionosphere)：800km 以上。

三、气象要素(Weatherelements)：

1、气温(temperature)：表示大气冷热程度的物理量，实质是空气分子平均动能的体现。

温标(thermometricscale)：摄氏和开氏；地面气温指离地面 1.5m 百叶箱测温。

分布：受太阳辐射、海陆分布、陆地表面特征和地面地形、环流作用等影响。

2、气压(atmosphericpressure)：观测高度到大气上界单位面积上的铅直空气柱的重量。(Atmosphericpressureistheforcewithwhichacolumnofoverlyingairpressesonanareaoftheearth'ssurface.)

观测仪器：水银气压表和空盒气压计。

单位(unit)：Pa，气象 hPa，与 mb 相当。

气压随高度增加呈指数减小。水平分布由于地表非均一及动力、热力影响，不呈简单纬向分布。高低压、高压脊、低压槽等

3、湿度(humidity)：大气中水汽含量。探空汽球用羊皮膜。

4、比湿(specifichumidity)：单位体积大气中，水汽质量与总大气质量。

5、水汽压和饱和水汽压(steampressureandsaturationsteampressure)：由水汽引起的压强称水汽压；

6、相对湿度(relativehumidity)：空气中水汽压与饱和水汽压之比。

7、露点(dewpoint)：湿空气等压降温达饱和时的温度。完全由水汽压决定。

温度露点差：气温与露点温度的差，代表相对湿度。

8、风(wind)：

空气相对地面作水平运动。风向指来向，16 方位。

风速(windspeed):气流前进速度 m/s。风力浦福风力。

风速计(anemometer)：、风压板、超声。

四、气压带和风带(Pressurebeltsandwindbands)

1、气压带(pressurebelts)：热带低气压区(tropicallowerpressurezone)；副热带高压区(subtropicalhighpressurezone)；

副极地低压区(subpolarlowerpressurezone)；极地高压区(Polarhighpressurezone)；极锋；副热带锋。

2、风带(windbands)：东南、东北信风(Tradewind)；西风(Westerlies)；极地东风(PolarEasterlies)。

五、季风环流(Monsooncirculation)

季风环流(monsooncirculation)，垂直环流(verticalcirculation)

1、季风是大范围盛行风向随季节有显著变化的风系。主要是由于海陆温度对比的季节

性变化和地球上行星风系的季节性南北移动所致。

2、季风是两种不同性质气流的交替，它具有以下特点：

(1)盛行风向随着季节的变化而有很大的不同，甚至接近于相反方向；

(2)两种季节(冬季风和夏季风)各有不同的源地，因而其气团性质有着本质的差异；

(3)能够给天气现象造成明显不同的各种季节，例如雨季和旱季、冬夏明显对比等。

3、全球有三个季风区，一个是印度季风区，二是东亚季风区，三是西非季风区。

东亚南亚是世界最著名的季风气候区，这里冬季盛行东北气流(华北东北为西北气流)，天气寒冷、干燥、少雨；夏季盛行西南气流(中国东部至日本盛行东南气流)，天气炎热、湿润、多雨。

4、季风的形成和维持受各种因素的影响，主要有：

(1)海陆影响

(2)行星环流影响

(3)青藏高原大地形影响

除海陆分布影响行星风带的冷暖季节变化以及大地形影响外，南北半球气流间的相互作用等，也直接影响季风的形成及维持。

天气系统(WeatherSystem)

一、大气锋面(Front)

1、气团(airmass)：温、湿度、稳定度等相对比较均匀的大规模空气集团。

2、锋面(front)

1）暖锋(warmfront)：暖气团占主导地位

2）冷锋(coldfront)：冷气团占主导地位

3）静止锋(stationaryfront)：冷、暖气团相当。

4）锢囚锋(occludedfront)：冷暖锋面相遇形成。

二、温带气旋(Temperatezonecyclone)

波动阶段(undulatingphase)；

成熟阶段；

锢囚阶段；

消亡阶段

三、爆发性气旋(Cyclone)

四、热带气旋(Tropicalcyclone)

1、一般说明：热带气旋：飓风、台风(typhoon)、热带风暴、热带低压

2、台风结构：气压场；台风眼；云壁

3、台风生成机制和发展过程，台风移动：

五、副热带高压(Subtropicalhigh-pressure)

六、热带辐合带(Tropicalconvergencezone)

七、中小尺度天气系统(Mesoscaleweathersystem)

龙卷风；雹线

八、区域性天气系统(Weathersysteminlocalareas)

海陆风(land-seabreeze)：

海风(onshorebreeze)：白天，海向陆吹；

陆风(offshorebreeze)：黑天，从陆地吹向海洋。

焚风(foehn)：

山谷风：白天吹谷风（从山下向山上吹），夜晚吹山风。

谷风：山的斜坡加热，气流上升，周围气流从水平和下面补充，形成沿山坡向上吹的谷风

山风：夜晚降温，气流下沉，形成向下吹的山风。

中国海气候特征(ClimaticCharactersofChinaSea)

中国海：天气特征(Weathercharacter)

气候分布(Climatedistribution)

寒潮(ColdWave)

台风(Typhoon)、南风(Souther)、北风(Norther)

第十章 海洋中的声、光传播及其应用

声波在海洋中的传播(TransmissionofSoundintheSea)

一．研究意义(Significanceofresearch)

水下通讯：电磁波(ElectromagneticWave)，声波(Acousticwave)，空气中传播，水中传播

1914 朗之万、康斯坦丁制成了静电式发射器和碳粒微音接收器，1918 年采用这一装置测到海底和 200m 深甲板上的回波。同时又用石英晶体做成压电式发射器和接收器并采用真空管放大器，制成第一台回声定位仪，以后简称:声纳（sonarsoundnavigationandranging)声导航和回声定位的英文缩写。

二．声波知识(Knowledgeofacousticwave)：

1、声波是弹性波，在弹性介质中传播，是纵波。水中声速为 1500m/s，空气中为 330m/s。

2、声场：声波作用的空间范围。

3、声波频率(frequencyofsonic)：

声源每秒振动次数，单位赫兹(Hz)。人耳可听到的最高频率为 20KHz，因此该频率以上的声波称为超声波(ultrasonic)；可听到的最低频率为 20Hz，低于此的称为次声波(infrasound)。

4、声线：

波长与介质的不均匀尺度相比可忽略，以射线方法定性描述声波传播轨迹。基于折射定律。

5、折射(refraction)、反射(reflection)定律：声线总是向声速小的方向弯曲。

三．声波在水中传播的速度(Soundspeedinwater)

1、声速(soundspeed)：是温、盐和压的函数

2、声速与温、盐、压关系

1)与温度关系：随温度升高而增大，温度升高 1 摄氏度声速的变化是原来的 35%，设 C=1450m/s，则声速将增大 5m/s。

2)与盐度关系：随盐度增加而增大，盐度增加 1，声速值增加 1.14m/s。

3)与压力关系：静压力增加，声速值增加。海水深度变化 100m，声速增量为 1.75m/s。

由上可见，声波在水下传播随温、盐、压的增大而增大其中温度影响最显著，其次是压力，通常盐度的变化多忽略，除非极特殊海区。

3、声速垂直分布(verticaldistributionofsoundspeed)：

1）一般海区 GS 很小，可忽略。实际应用中以声速梯度仪直接得出声速铅直剖面 c(z)曲线。水平方向声速是不均匀，但水平梯度较铅直梯度为小。在复杂海区（冷暖水团交混

区）必须考虑声速的水平梯度。

2）大西洋、太平洋和地中海都存在声速极小值，极小值所在平面称声道轴。声波在其可传播很远，此即水下声道现象(soundchannel)。

四．海洋声学特性(Acousticcharacterofocean)

1、海水的声吸收(acousticabsorption)：

将声能变为不可逆的海水分子内能流体介质存在粘滞性与导热性，介质因压缩变形而引起声能耗散为机械能耗散。动态压缩时，分子间的非弹性碰撞使部分声能转变为热能，通常称这部分声吸收为由分子过程引起的声吸收。

2、海面波浪的声散射(acousticscatter)：

因不平整性、气泡和浮游生物的散射，声能弥散到其他方向而损失。

3、海底声学特性(acousticcharacterofseafloor)：

声波经过海底不仅有纵波也产生横波。反射和吸收是海底声学的重要物理量。与海底的密度和其中的声速度有关。海底岩石组成、表面粗糙度、密度及孔隙率有关。

4、海洋内部不均匀性对声波影响(effectofasymmetryofoceantoacousticwave)：

气泡、冷暖水体、湍流、内波和深水声散射层等，都可引起声场起伏。

五、声波在海洋中的传播(Transmissionofsoundinsea)

典型水位条件下的声传播

波导型：(dc/dz)>0，即声速随深度增加而增大，声线向上弯曲，在海面或某层反射向前传播，不存在海底的吸收和散射，声能传播距离远。多见于冬季浅海和深海 2000m 以下。

在浅海亦称表面声道。声呐在浅海冬季比夏季传播远。

反波导型：(dc/dz)<0，声线弯向海底，由于海底对声波的吸收和散射，经海底反射回来的声能减弱，且存在声阴影区。声传播距离受到限制。夏季浅海的“午后效应”。

分裂型：某层存在声速最大层，声能部分向上部分向下折射，使到达某区的声能减小，存在声阴影区。秋季，混合层下出现温跃层(Thermohaline)。

水下声道(sofarchannel)：由跃层效应，在温跃层以下深水区，水温随深度增加变化减小，压力对声速的影响显著，使 c(z)曲线有极小值。若声源在此附近，从声源发出的声线束将向声速极小值所在的水层弯曲，此时声能大部分限制在此水层间，没经过海面和海底的反射、散射和吸收，声能损失很少，像在水下存在一声能传播的通道，因此传播距离很远，称水下通道。

Atabout1000mthecombinationofsaltcontenttemperatureandpressurecreatesazoneofminimumvelocityforsound,that'sthesofarchannel。.

按声道轴（声速最小层所在水层）所处位置可分：深水声道(或水下声道)和浅水声道（或表面声道)，前者深度各大洋不同，大西洋中纬 1260m 附近，太平洋中纬则 900m 深的地方。后者常不稳定，因为表面波浪和大量气泡引起的散射使声能损失了一部分能量。

水下声道的应用：在三个不同方位设置声发（SOFAR）系统，用于海上救援等。

六、海洋噪声(Noiseinocean)

物理噪声：来自海洋介质本身运动，波浪、海流、湍流及冰层破裂等产生的噪声。

生物噪声：动物噪声，鲸、海豚、虾群碰撞等引起的噪声。

海洋噪声源在空间的分布是无规则的、运动随时间无规则变化。

海洋中的光现象(LightintheSea)

一、研究意义(Significanceofresearch)

生物(organism)：植物(plant)，光合作用(photosynthesis)；动物(animal)，昼夜迁栖习惯。

区分水团和海流：光的散射(Scatter)和吸收(Absorption)与悬浮物质(Suspend Material)、混浊度(Turbidity)有关。

海洋热力状况：海水吸收辐射能主要在表层。

海底摄影

二、海水的光学特性(Opticalcharacterofseawater)

太阳辐射能谱：

红外(infrared)、可见(visible)、紫外线(ultravioletradiation)。

反射(reflection)与折射(refraction)

1、海水对光的吸收(absorption)

光能量在水中损失的过程就是吸收。

有选择性，长波优先。“蓝色窗口”。与海水浑浊度有关，混浊度大，“窗口”向长波转移。海水中“黄色物质”影响对光吸收与纯水不同。随深度增加指数衰减。

2、海水对光的散射(scatter)

散射系数随深度增加指数衰减。

分子散射：瑞利定律

粒子散射：梅氏效应

3、海水对光的衰减(attenuation)：

既是吸收和散射。衰减系数等于吸收系数和散射系数之和。

三、透明度和水色(Transparency&Watercolor)

1、定义(Definition)：

1)透明度(transparency):

相对透明度：直径 30cm 的白色圆盘垂直沉入海水中，直到刚看不见为止的深度。

透明度仪：一束准平行光束，经过一段距离后其光能强度与原强度之比。$L=1/\gamma$ 为衰减长度。

2)水色(watercolor)：

将透明度盘提升至透明度一半深度处，俯视透明度盘之上的水柱颜色。由海水的光学性质决定。

水色计

3）海色(seacolor)：站在岸边观察的海水的颜色。主要是反映天空的颜色。

2、透明度和水色的分布(Distributionoftransparency&watercolor)：

二者分布一致。

浅海透明度小，水色低；远洋透明度大，水色高。

低纬透明度大，水色高；高纬透明度小，水色低。其分布与海流方向一致。

四、光与海洋生物(Lightandmarineorganism)

生物对光的吸收和散射

生物发光(noctilucence)：受激发光，自然发光——海洋的神秘现象

生物对光的利用：光合作用(photosynthesis)

第十一章 海洋遥感(OceanicRemoteSensing)

概述（Summary）

一、海洋遥感及空间海洋观测历史背景(Backgroundofremotesensingandspatialoceanobservation)：

1.1957 年苏联发射第一颗人造卫星(man-madesatellite)。

1960 年 NASA（NationalAeronauticsandSpaceAdministration，美国宇航局）发射了第一颗电视与红外(infrared)观测卫星。

1961 年美国水星(Aqua)计划。

1973 年 Skylab 证实了可见光(visiblelight)和近红外(nearinfrared)遥感对地球连续观测的能力。

1975 年 GEOS-3 卫星高度计(SatelliteAltimeter)。

2.NOAA(NationalOceanicandAtmosphericAdministration，美国海洋大气局)

1972-1976 发射 NOAA-1，2，3，4，5 卫星，装载了红外扫描辐射计(infraredscatteringradiometer)和微波辐射计(microwaveradiometer)，估计海表温度(seasurfacetemperature)、大气温度(atmospheretemperature)、湿度剖面(moistureprofile)。

1978NASA 发射了三颗卫星，喷气动力实验室（JPL）研制的 SeasatAGoddard 空间飞行中心（GSFC）研制的 TIROS-N 和 Nimbus-7 卫星

3.SeasatA 海洋实验卫星装载了微波辐射计 SMMR

微波高度计(MicrowaveAltimeter)RA、微波散射计(MicrowaveScatterometer)SASS、合成孔径雷达(SyntheticApertureRadar)SAR、可见红外辐射计 VIRR5 种传感器，提供的海洋信息：SST、海面高度、海面风场、海浪(seawave)、海冰、海底地形、风暴潮(stormsurges)、水汽(vapour)和降雨(precipitation)等。寿命 108 天，被称为卫星海洋遥感的里程碑。

TIROS-N 上装载了 AVHRR(高级甚高分辨率辐射计)和 TIROS 业务化垂直探测器 TOVS.奠定了卫星海表温度进入气象、海洋业务化预报的基础。

Nimbus-7 装载了 7 台传感器，其中多通道扫描微波辐射计 SMMR 和沿岸带海色扫描仪 CZCS 与海洋观测有关，奠定了海色卫星遥感的基础。

1978-86CZCS 提供了 8 年的全球海色(seacolor)图像以及海洋次表层叶绿素浓度参数(parametersofoceansubsurface'schlorophyllconcentration)。

二、海洋遥感现状(Statusinquo)：

三、发展前景(Development)：

EOS 计划：投入 100 亿美元，18 年完成。1999/12/18/18：35 第一颗卫星 TERRA 已发射上天。上面搭载 5 个传感器：高级空间热辐射反辐射计（ASTER)，云和地球辐射能量

系统(CERES)，多角光谱成像辐射仪(MISR)，中分辨光谱成像辐射仪(Modis)，对流层(troposphere)污染观测仪（MOPITT）（注：ASTER:高级空间热辐射反辐射计，采集自可见光至热红外地高分辨率（15-90m）多光谱资料，用于局部和区域过程研究。

CERES：云和地球辐射能量系统，确定云净辐射作用和地球辐射收支。

MISR：多角光谱成像辐射仪，中分辨率（275-1100m）成像观测，研究地表覆盖、气溶胶(aerosol)、云散射的角度分布特征。

Modis：中分辨光谱成像辐射仪，36 波段和 250-1000m 的分辨率，对地球陆地、海洋和大气进行逐日综合评价。陆地覆盖特征及陆地变化、海洋生产力(oceanproduction)、陆地和海洋上气溶胶特性、可降水量、大气温度廓线、云滴尺度、云高和云顶温度探测。

MOPITT：对流层(troposphere)污染观测仪,全球三个高度层 CO 分布图，及分辨率(resolution)为 22km 全球甲烷(methane)分布图。

卫星遥感观测系统组成(ComponentsofSatelliteRemoteSensingObservationSystem)

一、卫星遥感观测系统组成(Components)：

1.空间平台(platform)：

装载传感器(sensor)的空间运载工具，包括人造卫星(man-madesatellite)

2.卫星传感器(sensor)：根据电磁辐射(electromagneticradiation)原理获取海洋信息。

3.数据传输系统(Data-transmissionsystem)：

星载传感器通常产生测量电压或频率(frequency)信号，大部分以数字信号形式传输到地面接收站。

4.地面接收站(earthstation)：

5.数据处理系统(Data-processingsystem)：对卫星轨道(satelliteorbit)和仪器校正。

6.数据分发系统(Data-distributionsystem)：行政性组织机构，将数据分到科学家手里。

二、卫星轨道(Orbit)

两种：静止轨道(stationaryorbit)和极轨轨道。

1.静止轨道：

地球同步轨道(geo-synchronousorbit)。离地面高度 36000km，覆盖范围固定（事先设定），一般观测范围小于 45。对某地扫描时间间隔短，可认为时间连续。传感器主要是被动式(passive)。分辨率低(lowresolution)，主要为气象服务。海洋观测卫星都是采用极轨轨道。

2.极轨轨道：与太阳同步轨道(sun-synchronousorbit)。每次过这个地方时间固定，一天两次。离地面高度 600—1000km，可变轨（在轨机动），技术上一段时间进行轨道修正。运行周期 100 分钟左右。其相邻轨道间隔由轨道倾角和轨道高度决定，在赤道上存在某些空白区（见动画）。观测范围基本覆盖全球。同一地点采样间隔长，TOPEX 是 9 天两次，

ERS-1、2 为 35 天两次，NOAA 和 TERRA 每天两次。

传感器原理及海洋参数反演(PrinciplesofSensor)

一、传感器分类(Sortsofsensors)：

目前用于海洋观测的所有卫星传感器，均根据电磁辐射原理获取海洋信息。遥感技术采用的电磁波包括可见光(visible

light)、红外(infrared)、微波(microwave)。可见光谱范围在 0.4—0.7μm，红外波谱在 1—100μm，微波光谱在 1.8cm—6m(对应波段：0.3—100GHz)。

传感器按工作方式分为主动式(active)和被动式(passive)。

1、被动式：

可见、红外扫描辐射计(radiometer)，微波辐射计(microwaveradiometer)。

2、主动式：

如微波高度计(MicrowaveAltimeter)（垂直下视）、微波散射计(MicrowaveScatterometer)（侧视）、合成孔径雷达(SyntheticApertureRadar)(侧视合成）等。只有微波波段有，光源电磁波发射效率低，能量损失大，另外太阳辐射频率含盖红外、可见、紫外等频段，发射波受其影响很大。微波和激光，后者单点又造价太高。

二、传感器工作原理及海洋参数反演(Principles)

（一）被动式(passive)：辐射计工作原理是测量向上辐照度。按工作波段分可见、红外、微波等。可测表层叶绿素浓度，海洋初级生产力(primaryproduction)，悬浮物浓度、海表温度(seasurfacetemperature)、海面风速(seasurfacewindspeed)，海冰(seaice)，水汽含量等。

1、红外：

1)温度（皮温,skintemperature）、黑潮(Kuroshio)(高温)、上升流(upwelling)（低温）、中尺度涡(mesoscaleeddy)（10—100km）、ENSO、军事航天

2)AVHRR（AdvancedVeryHighResolutionRadiometer）先进甚高分辨率辐射计:测海表面温度 TirosNOAA-6

2、高光谱、多光谱：

1)连续频段、多个频段扫描

2)赤潮(redtide)、溢油、冰覆盖率…

3)水色卫星：8 个频道。SeaWiFS:(Sea-ViewingWideField-of-View

Senor)，第二代水色卫星，可反演叶绿素含量、海表温度(SST)、悬移质、地面植被、大气校正等

3、微波辐射计：

微波辐射计：海面温度、海面风速、大气柱水汽含量、可降水量、盐度、气温

SpecialSensorMicrowave/TemperatureSounder(SSM/T)

SpecialSensorMicrowave/WaterVaporProfiler(SSM/T2)

SpecialSensorMicrowave/Imager(SSM/I)

4、海色传感器反演海洋参数对应波段：

测海表温度：卫星 SST 分为海表皮温(skintemperature)（海表微米量级）和海表体温（海表 0.5—1.0m 层温度）。

中心波段：11μm 和 12μm 通道，3.7μm 水汽校正通道。

表层叶绿素浓度：433—453nm（纳米）（中心波段 443nm），500—530nm(510、520nm)，660—680nm(670nm)。

悬浮物浓度：540—560nm(550nm)。

地面植被：700—800(750)nm。

气溶胶(Aerosol)：745—785(765)nm,845—885(865)nm。

大气校正：660—680(670)nm，745—785(765)nm,845—885(865)nm。

（二）主动式(active)：

1、微波高度计(MicrowaveAltimeter)：测时间和散射强度得到海面高度(seasurfaceheight)、后向散射系数(backscatteringcoefficient)、有效波高(significantwaveheight)、海面风速(seasurfacewindspeed)，可反演流、潮等动力参数及地球结构和重力场。

2、微波散射计(MicrowaveScatterometer)：

通过测量风引起得粗糙海面对微波的后向散射特性来推算风场(WindField)。海面风场（10m），有方向。

3、合成孔径雷达 SAR(SyntheticApertureRadar)：

测海面的后向散射系数。反演波浪方向谱，内波(internalwave)，水下地形，中尺度涡(mesoscaleeddies)等。

卫星(Satellite)

NOAA(NationalOceanicandAtmosphereAdministration)系列气象卫星：携带传感器为甚高分辨率扫描辐射计 AVHRR(AdvancedVeryHighResolutionRadiometer)。

1.ERS-1：沿轨迹扫描辐射计 ATSR-1、高度计(Altimeter)、散射计(Scatterometer)和SAR(SyntheticApertureRadar)(C),已停用。

2.ERS-2：沿轨迹扫描辐射计 ATSR-2、高度计(Altimeter)、散射计(Scatterometer)和SAR(SyntheticApertureRadar)(C)。

3.TOPEX/POSEIDON（希腊海神）：专为海洋设计，携带传感器为高度计。

4.SEASTAR：海洋宽视场传感器 SEAWIFS(Sea-viewingWideField-of-ViewSensor)

5.RADARSAT：SAR(SyntheticApertureRadar)(C)

6.TERRA：5 个辐射计